

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

**Posouzení energetiky provozu na traťovém úseku
po jeho elektrifikaci**

**Assessment of Energy Consumption on Rail Segment
after its Electrification**

Student:

Martin Lacman

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jaromír Široký, Ph.D.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Lacman**

Studijní program: B2341 Strojírenství

Studijní obor: 2301R003 Dopravní technika a technologie

Téma: **Posouzení energetiky provozu na traťovém úseku po jeho elektrifikaci**
Assessment of Energy Consumption on Rail Segment after its
Electrification

Zásady pro vypracování:

Cíl práce:

Na základě analýzy provozních podmínek stanovit normativy vybraných typů vlaků a jejich energetickou náročnost po předpokládané elektrifikaci na traťovém úseku Frýdek–Místek - Český Těšín.

Postup řešení:

- 1) Analýza traťových a provozních poměrů na traťovém úseku
- 2) Stanovení normativů hmotnosti nákladních vlaků pro vybrané řady elektrických hnacích vozidel pro daný úsek
- 3) Výpočet parametrů pohybu vybraných nákladních vlaků a jejich porovnání před a po elektrifikaci úseku
- 4) Stanovení energetické náročnosti při dopravě těchto vlaků
- 5) Provozně technické vyhodnocení

Seznam doporučené odborné literatury:

Podklady provozovatelů dopravy

ŠIROKÝ, Jaromír. *Mechanika v dopravě*. Ostrava. VŠB-TU Ostrava. 2004.

ANTONICKÝ, Stanislav. *Provoz hnacích vozidel*. Bratislava: Alfa. 1987. 423 s.

ANTONICKÝ, Stanislav. *Provoz kolejových vozidel II (Vozební výpočty)*. Bratislava: Alfa. 1987.

FMD. *Předpis V7 Trakční výpočty (včetně příloh)*. Praha. FMD. 1982.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaromír Široký, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě.....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Martin Lacman

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Dalimilova 18, Ostrava – Radvanice, 716 00

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Jaromíru Širokému, Ph.D. za cenné rady a připomínky pro vytvoření této práce.

Martin Lacman

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

LACMAN, M. *Posouzení energetiky provozu na daném traťovém úseku po elektrifikaci*. Ostrava: Institut dopravy, Fakulta strojní VŠB- Technická univerzita Ostrava, 2013, Bakalářská práce, vedoucí: Ing. Jaromír Šíroký, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá posouzením energetické náročnosti po elektrifikaci traťového úseku.

Cílem práce je na základě analýzy provozních podmínek stanovit normativy vybraných typů vlaku a jejich energetickou náročnost na traťovém úseku Frýdek –Místek - Český Těšín po předpokládané elektrifikaci.

ANNOTATION OF BACHELOR WORK

LACMAN, M. *Assessment of Energy Consumption on Rail Segment after Electrification*. Ostrava: Institute transport VŠB – Technical University of Ostrava, 2012, Bachelor work, director: Šíroký, J.

Bachelor work is focused on Assessment of Energy Consumption on Rail Segment after its Electrification.

The aim of this work is to determine normatives of selected types of train and their demand of energy on track section Frýdek–Místek - Český Těšín on the basis of analysis operating conditions.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a	zrychlení	$[\text{ms}^{-2}]$
a_b	brzdné zpomalení	$[\text{ms}^{-2}]$
a, b, c	koeficienty součinitele vozidlového odporu	$[-]$
b_i	měrná spotřeba paliva na i -tém regulačním stupni	$[\text{l/h}]$
b_{top}	měrná spotřeba paliva na topení	$[\text{l/h}]$
B_c	celková spotřeba paliva	$[\text{l}]$
ΔL	přírůstek ujeté dráhy	$[\text{km}]$
ΔV	přírůstek rychlosti	$[\text{km/h}]$
ΔT	přírůstek času	$[\text{min}]$
ΔT_{ij}	doba použití i -tého stupně	$[\text{min}]$
E_C	celková energie na sběrači hnacího vozidla	$[\text{kWh}]$
$E_{1\text{TM}}$	energie spotřebovaná na 1 trakční motor	$[\text{kWh}]$
$E'_{1\text{TM}}$	energie spotřebovaná na 1 trakční motor	$[\text{Ws}]$
E_{NAP}	energie spotřebovaná taženými vozidly	$[\text{kWh}]$
E_{PZ}	energie spotřebovaná na pohon pomocného zařízení vozidla	$[\text{kWh}]$
E_{TL}	energie spotřebovaná na vozbu	$[\text{kWh}]$
E_{TR}	energie spotřebovaná na 4 trakční motory	$[\text{kWh}]$
E_Z	energie spotřebovaná na pokrytí ztrát	$[\text{kWh}]$
F_O	tažná síla na obvodu kol	$[\text{N}]$
F_{SP}	tažná síla na spřáhle	$[\text{N}]$
F_{spR}	tažná síla na spřáhle pro rozjezd	$[\text{N}]$
F_{spP}	tažná síla na spřáhle určená pro stanovenou průjezdovou rychlost	$[\text{N}]$
G_L	tíha hnacího vozidla	$[\text{t}]$
G_D	tíha tažených vozidel	$[\text{t}]$
g	gravitační zrychlení	$[\text{ms}^{-2}]$
iI_{S1TM}	střední hodnota proudu v i -tém úseku	$[\text{A}]$
iI_{1TM1}	velikost proudu na počátku i -tého úseku	$[\text{A}]$
iI_{1TM2}	velikost proudu na konci i -tého úseku	$[\text{A}]$
k_{kW}	konstanta pro převod jednotek	$[-]$
K	poměrná spotřeba pomoc. pohonů, pro hnací vozidla ss vozby	$[-]$
l_i	délka i -tého sklonového úseku	$[\text{m}]$

l_{obl}	délka oblouku na daném sklonovém úseku	[m]
l_{tun}	délka tunelu na daném sklonovém úseku	[m]
L_B	poloha místa na trati od počátku brzdného režimu	[km]
L_K	poloha zastavení vlaku	[km]
L_P	poloha začátku úseku na trati	[km]
m	počet trakčních motorů	[-]
M_N	náběhový normativ	[t]
M_P	průjezdový normativ	[t]
M_R	rozjezdový normativ	[t]
M_T	technický normativ	[t]
o_D	součinitel vozidlového odporu	[-]
o_R	součinitel rozjezdového odporu	[-]
o_T	součinitel traťového odporu	[-]
p_s	střední přebytek měrné tažné síly	[‰]
R	poloměr oblouku	[m]
s_i	sklon na i-tém traťovém úseku	[‰]
s_{obl}	přídavný sklon oblouku	[‰]
s_{rk}	rozhodné stoupání	[‰]
s_{rz}	rozhodný spád	[‰]
s_o	setrvačný sklon	[‰]
s_{ov}	výběhový setrvačný sklon	[‰]
s_{tun}	přídavný sklon tunelu	[‰]
t	čas	[s]
t_b	čas od počátku brzdění do zastavení	[s]
T	čas v minutách (hodinách)	[min,h]
T_{CTOP}	celková doba topení	[min]
T_{ci}	celkový čas provozu na i-tém regulačním stupni	[min]
${}_iU_{ITM}$	napětí připadající na 1 trakční motor v i-tém úseku	[V]
V_o	počáteční rychlost, od které začíná brzdný režim	[km/h]
V_{i-1}	počáteční rychlost v daném rychlostním kroku	[km/h]
V_S	střední hodnota rychlosti	[km/h]
V_{ST}	stanovená rychlost v daném úseku trati	[km/h]
ss	stejnoseměrný	
$SŽDC$	Správa železničních dopravních cest	

TTP	tabulka traťových poměrů
žst.	železniční stanice

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	7
1 ÚVOD.....	12
2 HISTORIE TRATI ^[14].....	13
3 ANALÝZA TRATI FRÝDEK-MÍSTEK – ČESKÝ TĚŠÍN ^[5, 10]	14
3.1 Popis trati	14
3.2 Stavebně technické parametry trati.....	14
3.3 Rychlostní profil trati v jednotlivých směrech	15
4 ANALÝZA PROVOZU NA TRATI FRÝDEK-MÍSTEK – ČESKÝ TĚŠÍN ^[7, 8].....	16
4.1 Osobní doprava na trati Frýdek-Místek - Český Těšín.....	16
4.2 Nákladní doprava na trati Frýdek-Místek - Český Těšín	17
5 VÝBĚR ELEKTRICKÝCH HNACÍCH VOZIDEL ^[1, 10, 11, 12]	19
5.1 Technický popis elektrické lokomotivy E 479.0	19
5.2 Technický popis elektrické lokomotivy E458.0	21
6 ÚPRAVA PROFILU TRATI ^[1, 6]	24
6.1 Redukce sklonu.....	24
6.2 Rozhodné stoupání	27
6.3 Rozhodný spád	27
7 VÝPOČET NORMATIVŮ HMOTNOSTÍ ^[1]	29
7.1 Základní rozdělení hmotností	29
7.2 Výpočet technického normativu	29
8 VÝPOČET SETRVAČNÉHO SKLONU A SETRVAČNÉHO VÝBĚHOVÉHO SKLONU ^[1].....	33
8.1 Setrvačný sklon.....	33
8.2 Výběhový setrvačný sklon.....	34

9 STANOVENÍ PARAMETRŮ JÍZDY VLAKŮ VEDENÝCH VYBRANÝMI ELEKTRICKÝMI VOZIDLY ^[1, 3]	35
9.1 Výpočet tachogramů jízdy vybraných vlaků	35
9.1.1 Rozjezd vlaku	36
9.1.2 Technologie jízdy vlaku v blízkosti stanovené rychlosti na trati	38
9.1.3 Zastavení vlaku ve stanoveném místě	40
9.2 Spotřeba energie během jízdy	42
9.2.1 Výpočet spotřeby elektrické energie	42
10 STANOVENÍ PARAMETRŮ JÍZDY VLAKU VEDENÉHO MOTOROVÝM HNACÍM VOZIDLEM ŘADY 742 ^[1, 8, 11]	47
10.1 Výpočet tachogramu jízdy vlaku	47
10.2 Výpočet spotřeby paliva	49
11 POROVNÁNÍ PARAMETRŮ JÍZDY VLAKŮ ELEKTRICKÉ A MOTOROVÉ TRAKCE V OBOU SMĚRECH TRATI ^[1, 6, 13]	51
11.1 Porovnání parametrů jízdy vybraných vlaků ve směru Frýdek-Místek – Český Těšín	51
11.1.1 Grafické porovnání tachogramů jízd vlaků	51
11.1.2 Porovnání jízdních dob	52
11.1.3 Porovnání spotřeby energie vlaků	52
11.2 Porovnání parametrů jízdy vybraných vlaků ve směru Český Těšín – Frýdek-Místek	54
11.2.1 Grafické porovnání tachogramů jízd vlaků	54
11.2.2 Porovnání jízdních dob	55
11.2.3 Porovnání spotřeby energie vlaků	55
ZÁVĚR	57
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A JINÉ ZDROJE	58
PŘÍLOHY	59

1 ÚVOD

Cílem práce je na základě analýzy provozních podmínek stanovit normativy vybraných typů vlaku a jejich energetickou náročnost po předpokládané elektrifikaci na traťovém úseku Frýdek-Místek - Český Těšín.

Postupem času dochází k rozšiřování elektrifikace tratí na mnoha místech České republiky. Tomu předchází srovnání spotřeby energie vlaků vedených různými vozby trakce a jejich promítnutí do ekonomiky provozu.

V této práci analyzuji jednokolejnou trať Frýdek-Místek – Český Těšín, která je pro mne velice zajímavá i z důvodu, že je z mého kraje a je dosti vytíženým železničním úsekem jak pro osobní, tak nákladní přepravu.

Mými hlavními úkoly je analyzovat traťové podmínky a sestavit redukovaný profil trati. Poté na základě těchto provozně technických podmínek stanovit technické normativy pro vybrané typy hnacích vozidel elektrické trakce, tzn. určit největší možnou přípustnou hmotnost, kterou jsou tato vozidla schopna dopravit na tomto úseku. Dále pak vytvořit tachogramy jízdy pro tyto vlaky v obou směrech jízdy na trati. Avšak hlavním cílem této práce je výpočet spotřeby energie těchto vlaků vedených vybranými vozidly závislé trakce a následně jejich porovnání s konkrétním vozidlem nezávislé trakce, který jezdí na této trati a pro které je určen technický normativ v sešitovém jízdním řádu.

2 HISTORIE TRATI ^[14]

Dne 1.6.1888 se na úseku Frýdek Místek - Český Těšín zahájila veškerá vlaková doprava (osobní i nákladní). Trať byla provozována společností Dráha moravskoslezských měst, kterou vlastnila společnost Kaiser Ferdinands-Nordbahn (dále KFNB). Roku 1906 došlo k zestátnění tratě a novým vlastníkem se staly Rakouské státní dráhy, později se staly i provozovatelem. Od této doby je nepřetržitě trať ve vlastnictví státu. Po skončení 1. světové války se staly vlastníkem i provozovatelem Československé státní dráhy. S rozdělením Československa se rozdělily Československé státní dráhy na České dráhy, s.o. a Železnice Slovenské republiky. Na základě zákona o transformaci Českých drah, státní organizace, došlo 31.12.2002 k zániku státní organizace České dráhy bez likvidace. K 1.1.2003 vznikly dvě nástupnické organizace, a to České dráhy, a.s. a Správa železniční dopravní cesty (SŽDC), které jsou dnes provozovatelem námi zkoumané tratě.



Obr. 1 - Železniční stanice Český Těšín v meziválečném období

3 ANALÝZA TRATI FRÝDEK-MÍSTEK – ČESKÝ TĚŠÍN [5, 10]

Tato trať, označená č. 302 v sešitovém jízdním řádu, je velice sledovanou, jelikož se již dlouhodobě plánuje její elektrifikace. Myšlenky nabraly na síle zejména po výstavbě korejské automobilky Hyundai v Nošovicích. Případnou elektrifikací by se zvýšila přepravní kapacita a zvětšila by se tak i kvalita přístupu k vybudovanému automobilovému záводу a taktéž by se výrazně zlepšil vliv na životní prostředí. Nevýhodou by však byl zvýšený hluk a s tím možné spojené protesty obyvatel bydlících v blízkosti této trati. Tato modernizace by zahrnovala také velké finanční náklady, které by byly spojeny s kompletní výměnou kolejí, instalací trakčních sloupů, modernizací přejezdů, úpravou železničního svršku, výstavbou protihlukových stěn a dalších úprav.

3.1 Popis trati

Trať mezi stanicemi Frýdek-Místek – Český Těšín je jednokolejná a je určena jak pro nákladní, tak pro osobní přepravu s obousměrným provozem. Na zkoumané trati se mezi koncovými stanicemi nachází 5 zastávek a 2 železniční stanice, které fungují také jako odbočky na vlečku a jsou to stanice Hnojník a Dobrá u Frýdku Místku, odkud vede vlečka k pivovaru Nošovice. Trať se skládá ze 104 sklonových úseků, které jsou značně proměnlivé, a 36 oblouků, z kterých je 22 pravotočivých a 14 levotočivých, uvažujeme - li směr F.M → Český Těšín. Celý traťový úsek je dlouhý 26,508 km a maximální dovolená rychlost na této trati je 70 km/h. Grafický průběh trati je přílohou č. 1 této práce.

3.2 Stavebně technické parametry trati

Trať:	Český Těšín - Frýdek Místek	TTP: 302 B
Začátek trati: Český Těšín - km 138,091	Konec trati: Frýdek Místek - km 111,583	
Umístění určených zařízení a stavebně technické parametry dráhy.		
Zábrzdňá vzdálenost:	Platí pro : traťovou kolej 700 m	
Největší délka vlaku osobní dopravy:	44	náprav
Největší délka vlaku nákladní dopravy:	220 / 44	metry / nápravy
Provoz:	obousměrný	
Rozchod kolejí:	1435 mm	
Trakční soustava:	nezávislá	
Organizování a provozování drážní dopravy podle:	ČD D2	
Traťový rádiový systém:	SRD	

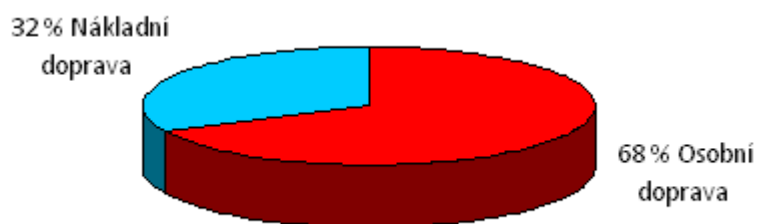
3.3 Rychlostní profil trati v jednotlivých směrech

Směr: Frýdek Místek – Český Těšín	
Poloha na trati (km)	Dovolená rychlost (km/h)
Frýdek Místek 0,000	30
0,257	40
0,817	70
5,007	40
Dobrá u F. M. 5,277	
5,517	70
12,037	30
12,047	70
14,892	40
Hnojník 15,078	
15,352	70
19,687	60
20,037	70
20,397	65
20,717	70
22,292	50
22,569	60
Ropice z. 22,811	
23,038	70
24,167	60
24,917	40
Český Těšín 26,508	

Směr: Český Těšín – Frýdek-Místek	
Poloha na trati (km)	Dovolená rychlost (km/h)
Český Těšín 0,000	40
1,591	60
2,341	70
3,424	60
Ropice z. 3,697	
4,082	50
4,216	70
5,791	65
6,111	70
6,236	40
6,491	70
11,156	40
Hnojník 11,430	
11,616	70
14,461	30
14,471	70
20,991	40
Dobrá u F. M. 21,231	
21,501	70
25,691	40
26,251	30
Frýdek-Místek 26,508	

4 ANALÝZA PROVOZU NA TRATI FRÝDEK-MÍSTEK – ČESKÝ TĚŠÍN ^[7, 8]

Na celé trati Frýdek-Místek – Český Těšín jezdí celkem 59 vlakových souprav, z toho 40 tvoří vlaky osobní dopravy a 19 vlaků nákladní dopravy. Na trati tedy převažuje osobní doprava nad dopravou nákladní. Celá trať by se dala rozdělit na 3 úseky podle toho odkud a kam jsou vlaky směřovány. Tyto úseky jsou Frýdek-Místek – Český Těšín, Frýdek-Místek – Hnojník a Frýdek Místek – Dobrá u Frýdku.



Obr. 2 - Podíl osobní a nákladní dopravy na trati

4.1 Osobní doprava na trati Frýdek-Místek - Český Těšín

Přepravu cestujících v obou směrech zajišťují motorové hnací vozy řady 814 a 810.

Hnací vůz	Normativ hmotnosti [t]	Počet vypravených vlaků / den
814	40	36
810	40	4

Tab. 1 – Přehled motorových vozů na trati [7]

4.1.1 Analýza osobní dopravy ve směru Frýdek-Místek – Český Těšín

V tomto směru je dopravováno denně celkem 20 vlaků osobní dopravy, z nichž 19 je končících v Českém Těšíně, pouze jeden končí ve stanici Hnojník. Všechny vlaky jedoucí do Českého Těšína mají svou výchozí stanici ve Frýdku-Místku mimo jednoho jedoucího ze stanice Frýdlant nad Ostravicí.

Konečné stanice osobní dopravy na trati	Počet končících vlaků v stanici / den
Český Těšín	19
Hnojník	1

Tab. 2 – Cílové stanice na trati [7]

4.1.2 Analýza osobní dopravy ve směru Český Těšín – Frýdek-Místek

V tomto směru jede taktěž 20 vlaků, jelikož se jedná o vlaky párové. Všech 20 vlaků končí svou jízdu ve stanici Frýdek-Místek, z toho 19 z nich má výchozí stanici v Českém Těšíně mimo 1 vlak začínající svou jízdu ve stanici Hnojník.

Výchozí stanice na trati	Počet výchozích vlaků / den
Český Těšín	19
Hnojník	1

Tab. 3 – Výchozí stanice vlaků na trati [7]

4.2 Nákladní doprava na trati Frýdek-Místek - Český Těšín

K přepravě nákladu na trati v obou směrech je využíváno motorových lokomotiv řady 731 a 742 nebo v mnoha případech také při přepravě těžších nákladů spojení dvou lokomotiv řady 742.

4.2.1 Analýza nákladní dopravy ve směru Frýdek-Místek – Český Těšín

Celkem 10 vlaků je jedoucích denně v tomto směru, z nichž 6 je směřováno do žst. Dobrá u Frýdku Místku, výchozí stanice těchto vlaků je převážně žst. Ostrava-Kunčice. Další část pak tvoří 3 vlaky končící v Českém Těšíně a 1 v Hnojníku. Všechny tyto vlaky vyjíždějí ze žst. Frýdek-Místek.

Traťový úsek	Počet vypravených vlaků / den
Ostrava-Kunčice – F.M – Dobrá u F.M	3
Ostrava Báňské n. – F.M – Dobrá u F.M	2
Frýdek-Místek – Dobrá u F.M	1
Frýdek-Místek – Český Těšín	3
Frýdek Místek - Hnojník	1

Tab. 4 – Traťové úseky pro nákladní vlaky na trati [8]

4.2.2 Analýza nákladní dopravy ve směru Český Těšín - Frýdek-Místek

V tomto směru jede denně 9 vlaků, u nichž je koncová stanice totožná se stanicí výchozí pro opačný směr. Jedná se tedy o vlaky párové.

Traťový úsek	Počet vypravených vlaků / den
Dobrá u F.M – F.M – Ostrava-Kunčice	3
Dobrá u F.M – F.M – Ostrava Báňské nádr.	2
Český Těšín – Frýdek-Místek	3
Hnojník – Frýdek-Místek	1

Tab. 5 – Traťové úseky pro nákladní vlaky na trati [8]

5 VÝBĚR ELEKTRICKÝCH HNACÍCH VOZIDEL^[1, 10, 11, 12]

Pro další výpočty jsem vybral elektrická hnací vozidla E 479.0 a E 458.0, jelikož jsou to na území České republiky často využívaná vozidla, a tudíž by mohla být na této trati pravidelně využívána po elektrifikaci trati. Popis jednotlivých lokomotiv je uveden níže.

5.1 Technický popis elektrické lokomotivy E 479.0

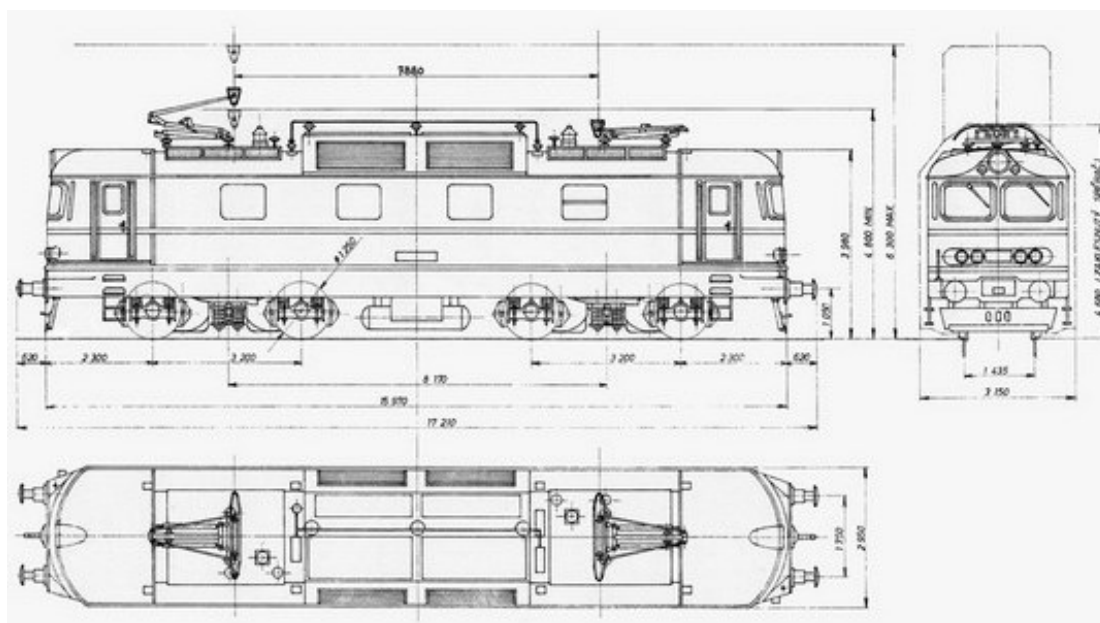
Lokomotiva E 479.0 je čtyřnápravové hnací vozidlo, kde všechny čtyři dvojkolí jsou hnací. Lokomotiva je skříňového typu, který je ocelový, svařovaný. Uvnitř se nachází centrální strojovna a dvě koncová stanoviště určená pro strojní personál, tato stanoviště jsou přístupná z obou stran. Na jedné bočnici se nacházejí čtyři okna obdélníkového tvaru a na protější bočnici jsou dvě tato okna spolu s dalšími dvěma malými, taktéž obdélníkovými okny, nad kterými jsou umístěny odporníky. Na obou stranách je jedno okno otevíratelné, aby byla zajištěna dostatečná ventilace strojovny. Design skříně se podobá první generaci lokomotiv ŠKODA. Rám skříně vozidla je spojen s oběma dvounápravovými podvozky druhé generace s dvoustupňovým vypružením pomocí čepů, které jsou pevně umístěny v podvozku. Skříň lokomotivy je uložena na ocelových vinutých pružnicích sekundárního vypružení, tyto pružnice jsou doplněny hydraulickými tlumiči jak ve svislém, tak i příčném směru. Primární vypružení je rovněž tvořeno vinutými pružinami, celkem na jedno dvojkolí připadají čtyři pružiny. Samotná dvojkolí jsou vedena svislými vodícími čepy v rámu podvozku. K rámu podvozku jsou napevno uloženy dva trakční motory s kloubovou spojkou značky ŠKODA, která pohání dvojkolí soukolím čelního ozubení.



Obr. 3 - Elektrická lokomotiva E 479.0

Brzdění vozidla je zajištěno samočinnou tlakovou brzdou systému DAKO DK-GP, řízenou dvěma brzdíči DAKO BS2, přímočinnou brzdou řízenou dvěma brzdíči DAKO BS2 a ruční brzdou. Tlak vzduchu je přiváděn do brzd pomocí šroubových elektricky poháněných kompresorů 3 DSK100. Lokomotiva je vybavena čtyřmi vzduchojemy, z toho jsou dva hlavní o objemu 1100 l a dva vedlejší, které mají objem 240 l. Celkem osm brzdových válců je spřaženo s brzdovými špalíky, která zajišťují brzdění všech čtyř dvojkolí z obou stran.

Regulace výkonu vozidla je odporová. Odporníky jsou fechrálové a umožňují tak libovolně dlouhou jízdu na jednom stupni. Odporníky jsou uloženy v horní části lokomotivy v odporové skříni. Řazení trakčních motorů, řazení jízdních stupňů a šuntování je prováděno pomocí hlavního kontroléru se samostatně spínanými elektropneumatickými stykači. Hlavní kontrolér je ovládán ze stanoviště strojvedoucího kruhovým řídicím kontrolérem. Trakční motory jsou sériové šestipólové stroje a jejich vzájemné řazení je sériové a sérioparalelní.



Obr. 4 - Typový výkres lokomotivy E 479.0

Základní technické údaje lokomotivy E 479.0

Uspořádání pojezdu	Bo'Bo'
Průměr hnacích dvojkolí	1250 mm
Délka přes nárazníky	17 210 mm
Rozchod	1435 mm
Trvalý výkon	2040 kW
Trvalá tažná síla	144 kN
Hodinová tažná síla	174 kN
Nejvyšší rychlost	100 km/h
Trvalá rychlost	49,9 km/h
Hodinová rychlost	47,1 km/h
Služební hmotnost	86 t
Trakční soustava	3 kV
Regulace výkonu	Odporová

Tab. 6 – Technické údaje HV E 479.0 [1, 10]

5.2 Technický popis elektrické lokomotivy E458.0

Lokomotiva E 458.0 je čtyřnápravové hnací vozidlo, kde všechna čtyři dvojkolí jsou hnací. Lokomotiva je velmi charakteristická a snadno rozpoznatelná díky své kabině věžového tvaru se značně prosklenou plochou. Pro svůj tvar se jí také někdy přezdívá žehlička. Kabina strojvedoucího je přístupná z obou stran. V koncových částech lokomotivy

se nacházejí plošiny, které jsou určeny pro posunovače a jsou přístupné bočními schůdky. Na stanovišti se nacházejí dva řídicí pulty ukryté pod demontovatelnými kabinami. Skříň vozidla je položena na obou dvounápravových podvozcích, s kterými je spojena pomocí otočných čepů, které jsou pevně uloženy v podvozku. Dvojkolí jsou vedena svislými vodicími čepy v podvozku. Primární vypružení je uzpůsobeno pryžkovými silentbloky. Sekundární vypružení skříně je zajištěno pomocí vinutých ocelových pružnic, ke kterým jsou paralelně řazeny hydraulické tlumiče. V každém z obou podvozků jsou umístěny dva trakční motory, které pohánějí nápravy jednostranným ozubeným převodem.



Obr. 5 - Elektrická lokomotiva E 458.0

Brzdová soustava je zajištěna pomocí ruční brzdy, přímočinné brzdy a samočinné tlakové brzdy. Samočinná tlaková brzda je typu DAKO GP a je řízena dvěma brzdiči DAKO BS2. Přímočinná brzda je řízena dvěma brzdiči DAKO BP. Tlak vzduchu je přiváděn do brzd pomocí elektricky poháněného kompresoru typu 3 DSK 100. Lokomotiva má čtyři vzduchojemy, z nichž jsou dva hlavní o celkovém objemu 1000 l a dva jsou vedlejší o celkovém objemu 200 l. Celkem má lokomotiva 4 brzdové válce a dvojkolí jsou brzděna z obou stran špalíkovou brzdou.

Elektrický proud z trakčního vedení je odebírán pomocí polopantografového sběrače umístěného na střeše kabiny. Regulace výkonu vozidla je odporová s fechralovými odporníky umožňující trvalé zatížení na jednotlivých stupních. Vozidlo má k dispozici 36 jízdnicích stupňů, které jsou řazeny kontrolérem se samostatnými elektropneumatickými stykači. Z toho jsou k dispozici 3 šuntovací stupně při sérioparalelním zapojení trakčních motorů. Kontrolér je ze stanoviště strojvedoucího ovládán kruhovými řídicími kontroléry. Pohon dvojkolí vozidla realizují stejnosměrné čtyřpólové elektromotory, která pohánějí tato dvojkolí jednostranným ozubeným převodem.

Základní technické údaje lokomotivy E 458.0

Uspořádání pojezdu	Bo'Bo'
Průměr hnacích dvojkolí	1050 mm
Délka přes nárazníky	14 400 mm
Rozchod	1435 mm
Trvalý výkon	800 kW
Trvalá tažná síla	91 kN
Hodinová tažná síla	119 kN
Nejvyšší rychlost	80 km/h
Trvalá rychlost	33 km/h
Hodinová rychlost	30 km/h
Služební hmotnost	72 t
Trakční soustava	3 kV
Regulace výkonu	Odporová

Tab. 7 – Technické údaje HV E 458.0 [1, 10]

6 ÚPRAVA PROFILU TRATI ^[1, 6]

6.1 Redukce sklonu

Vlivem stavebního uspořádání trati vznikají traťové odpory, které působí proti směru pohybu vozidla. Tyto traťové odpory jsou:

- odpor sklonu
- odpor oblouku
- odpor tunelu

Jelikož se přídavné odpory z oblouku dají špatně analyticky vyjádřit, provede se pro usnadnění výpočtu redukování profilu trati. Redukování znamená, že k samotnému sklonu trati započítáme také přídavný sklon z oblouku a tunelu, které jsou určeny z empirických vztahů. Toto redukování profilu trati je nezbytnou součástí práce pro určení dalších výpočtů.

Ve výchozích podkladech, které mně byly zaslány, byly sklonové poměry trati zahrnovány od kilometráže 111,802 – 136,756, avšak podle podkladů TTP je délka trati limitována od 111,583 – 138,091. Z toho jsem vyvodil, že v traťových úsecích dopočetných do kilometráže podle TTP bude sklon $s = 0 ‰$ a s tímto jsem také počítal.

Vztah pro výpočet redukovaného sklonu:

$$s_r = \frac{s_i \cdot l_i + \sum s_{obl} \cdot l_{obl} + \sum s_{tun} \cdot l_{tun}}{l_i} \quad [‰] \quad [1.1]$$

s_i [‰]sklon traťového úseku

l_i [m]délka sklonového úseku

s_{obl} [‰]přídavný sklon oblouku

l_{obl} [m]délka oblouku na daném sklonovém úseku

s_{tun} [‰]přídavný sklon tunelu

l_{tun} [m]délka tunelu na daném sklonovém úseku

Přídavný sklon oblouku s_{obl} se počítá pro koleje o rozchodu $e = 1435$ mm podle empirického vztahu:

$$s_{obl} = \frac{600}{R} \quad [‰] \quad [1.2]$$

R [m].....poloměr oblouku

Ve skutečnosti se velká část oblouků na trati skládá také z tzv. přechodnice, což je křivka o proměnné křivosti, která slouží k plynulému přechodu na trati mezi obloukem a přímým úsekem. V podkladech, které jsem obdržel od SŽDC, byla do délky oblouku započtená i celá délka přechodnice. V praxi se však pro výpočty redukce profilu trati započítává polovina délky přechodnice do délky oblouku a druhá polovina je uváděna jako přímý úsek, z tohoto důvodu jsem si obdržené parametry přepracoval podle tohoto kritéria.

Přídavný sklon odpor tunelu s_{tun} , který je způsoben vytlačováním sloupce vzduchu a následně jeho vířením kolem vlaku, je určen pomocí empirických hodnot:

Jednokolejný tunel:

$$s_{tun} = 2 ‰$$

Dvoukolejný tunel

$$s_{tun} = 1 ‰ \quad [1.3]$$

Na trati Frýdek Místek-Český Těšín se však žádný tunel nenachází, a proto přídavný sklon tunelu do redukce v žádném sklonovém úseku nezapočítáváme.

Vzorový výpočet redukování sklonu pro směr Frýdek Místek – Český Těšín:

Vzorový výpočet jsem provedl pro první a druhý sklonový úsek.

Na prvním sklonovém úseku $i = 1$ se nenachází žádný oblouk, a tudíž nám na tomto úseku nebude působit žádný přídavný sklon oblouku.

$$s_1 = 0 ‰$$

$$l_1 = 219 \text{ m}$$

Výsledná hodnota redukování sklonu na prvním sklonovém úseku $i = 1$:

$$s_{r1} = \frac{s_i \cdot l_i + \sum s_{obl} \cdot l_{obl} + \sum s_{tun} \cdot l_{tun}}{l_i} = \frac{0 \cdot 219}{219} = 0 ‰$$

Na druhém sklonovém úseku $i = 2$ se nachází sedm oblouků s poloměry $R_1 = 260 \text{ m}$, $R_2 = 220 \text{ m}$, $R_3 = 420 \text{ m}$, $R_4 = 245 \text{ m}$, $R_5 = 445 \text{ m}$, $R_6 = 245 \text{ m}$, $R_7 = 330 \text{ m}$, přídavné sklony z odporu oblouku jsou tedy:

$$s_{obl1} = \frac{600}{260} = 2,31 \text{ ‰} \quad s_{obl2} = \frac{600}{220} = 2,73 \text{ ‰} \quad s_{obl3} = \frac{600}{420} = 1,43 \text{ ‰} \quad s_{obl4} = \frac{600}{245} = 2,45 \text{ ‰}$$

$$s_{obl5} = \frac{600}{445} = 1,35 \text{ ‰} \quad s_{obl6} = \frac{600}{245} = 2,45 \text{ ‰} \quad s_{obl7} = \frac{600}{330} = 1,82 \text{ ‰}$$

$$s_2 = 4,30 \text{ ‰}$$

$$l_2 = 849 \text{ m}$$

Výsledná hodnota redukovaného sklonu na druhém sklonovém úseku $i = 2$:

$$s_{r2} = \frac{4,30 \cdot 849 + 2,31 \cdot 94 + 2,73 \cdot 40 + 1,43 \cdot 157 + 2,45 \cdot 73 + 1,35 \cdot 40 + 2,45 \cdot 46 + 1,82 \cdot 115}{849} = 5,60 \text{ ‰}$$

Redukovaný profil trati ve směru Frýdek-Místek – Český Těšín							
i	s_i [‰]	l_i [km]	k_{obl}	R [m]	l_{obl} [km]	s_{obl} [‰]	s_r [‰]
1	0	0,219					0
2	4,30	0,849	1	260	0,094	2,31	5,60
			2	220	0,040	2,73	
			3	420	0,157	1,43	
			4	245	0,073	2,45	
			5	445	0,040	1,35	
			6	245	0,046	2,45	
			7	330	0,115	1,82	
3	6,30	0,399					6,30
4	6,83	0,500					6,83
5	7,92	0,400					7,92
6	6,20	0,502	8	1202	0,406	0,50	6,60
7	7,88	0,998	8	1202	0,259	0,50	8,01
8	8,08	0,300					8,08
9	8,25	0,200					8,25
10	10,10	0,600	9	800	0,272	0,75	10,44

Tab. 8 – Tabulka redukovaného profilu pro prvních 10 úseků [1, 7]

6.2 Rozhodné stoupání

Rozhodné stoupání s_{rk} je největší redukované stoupání na úseku stanovené délky na sledovaném úseku trati. Jeho hodnota je nezbytná pro určení dalších výpočtů, a to pro stanovení maximální hmotnosti dopravovaných vozidel pro vybraná hnací vozidla v obou směrech trati.

Délka stanovená pro určení rozhodného stoupání s_{rk} se uvádí 1000 m.

Vzorec pro výpočet rozhodného stoupání:

$$s_{rk} = \frac{s_r \cdot l_i + \dots + s_{rp} \cdot l_p + s_{tq} \cdot (1000 - \sum_{i=1}^p l_i)}{1000} \quad [\text{‰}] \quad [1.4]$$

Výpočet s_{rk} pro směr Frýdek Místek-Český Těšín:

Výpočet se skládá ze čtyř po sobě navazujících úseků, kde hodnota jejich redukovaného sklonu je vynásobena jednotlivou délkou těchto úseků. Součet délek uvedených úseků musí být 1000 m.

$$s_{rk} = \frac{16,78 \cdot 268 + 14,36 \cdot 434 + 15,41 \cdot 215 + 16,34 \cdot (1000 - 268 - 434 - 215)}{1000} = 15,396 \text{ ‰}$$

Frýdek-Místek – Český Těšín	Český Těšín – Frýdek-Místek
$s_{rk} [\text{‰}]$	$s_{rk} [\text{‰}]$
15,396	15,550

Tab. 9 – Tabulka vypočtených hodnot rozhodného stoupání v obou směrech trati

6.3 Rozhodný spád

Rozhodný spád s_{rz} je největší průměrný spád úseku stanovené délky na sledovaném úseku trati, přičemž neuvažujeme odpor oblouků a tunelů.

Délka stanovená pro výpočet rozhodného spádu s_{rz} se uvádí zpravidla zábrzdna vzdálenost, což je na sledované trati 700 m.

Výpočet s_{rz} pro směr Frýdek Místek-Český Těšín:

$$s_{rz} = \frac{(-16 \cdot 250 - 15,30 \cdot (700 - 250))}{700} = -15,550 \text{ ‰}$$

Tabulka vypočtených hodnot rozhodného spádu v obou směrech trati

Frýdek-Místek – Český Těšín	Český Těšín – Frýdek-Místek
$s_{rz} \text{ [‰]}$	$s_{rz} \text{ [‰]}$
-15,550	-14,940

Tab. 10 – Tabulka vypočtených hodnot rozhodného spádu v obou směrech trati

7 VÝPOČET NORMATIVŮ HMOTNOSTÍ ^[1]

Důležitou součástí práce je určit maximální hmotnost, kterou jsou vybraná hnací vozidla schopna dopravit na tomto traťovém úseku. Tato nejvyšší dovolená dopravovaná hmotnost určená zvlášť pro daná hnacího vozidla se nazývá technický normativ hmotnosti, pro který se počítají pravidelné jízdní doby.

Pro výpočet této maximální zátěže jsem zvolil tažená vozidla typu T4, což jsou ložené čtyřnápravové vozy.

7.1 Základní rozdělení hmotností

Dopravní hmotnost M_D [t] – celková hmotnost všech dopravovaných vozidel

Hmotnost vozidla M_V [t] – součet hmotností prázdného vozidla, nákladu, cestujících, personálu a provozních hmot

Technický normativ hmotnosti M_T [t] – dopravní hmotnost, pro kterou byly pro určitý typ vozidlového odporu a typ hnacího vozidla stanoveny pravidelné jízdní doby

Rozjezdový normativ hmotnosti M_R [t] – normativ hmotnosti pro danou řadu hnacích vozidel, platný při rozjezdu vlaku v určitém úseku nebo místě

Průjezdový normativ hmotnosti M_P [t] – normativ dopravní hmotnosti vlaku pro danou řadu hnacího vozidla, platný pro průjezd daným úsekem nebo místem bez zastavení nebo bez omezení rychlosti pod stanovenou hodnotu

7.2 Výpočet technického normativu

Postup výpočtu probíhá tak, že nejdříve se určí dílčí normativy a z těchto dílčích normativů vybereme nejmenší hmotnost a tato hmotnost bude představovat výsledný technický normativ, který na této trati bude vybrané hnací vozidlo schopno dopravit.

Vztah pro výsledné určení technického normativu:

$$M_T = \min (M_R, M_P) \text{ [t]} \quad [1.5]$$

M_R [t].....rozjezdový normativ

M_P [t].....průjezdový normativ

Rozjezdový normativ hmotnosti:

Stanovení tohoto normativu vychází z pohybové rovnice vlaku, z které vyjádříme rozjezdovou hmotnost.

Pohybová rovnice vlaku:

$$F_{SP} - G_D \cdot o_D - G_L \cdot o_T - G_D \cdot o_T = 0 \quad [1.6]$$

F_{SP} [N].....tažná síla na spřáhle hnacího vozidla

G_L [N].....tíha hnacího vozidla

G_D [N].....tíha dopravovaných vozidel

o_D [1].....součinitel vozidlového odporu tažených vozidel vozidla

o_T [1].....součinitel traťového odporu

Vztah vyjádřený pro rozjezdovou hmotnost:

$$M_R = \frac{F_{spR} - G_L \cdot o_T}{o_D + o_T + o_R} \cdot \frac{10^{-3}}{g} \quad [t] \quad [1.7]$$

F_{spR} [N].....tažná síla na spřáhle pro rozjezd, pro vozidla závislé vozby se stupňovitou odporovou regulací se použije tažná síla na mezi adheze na prvním hospodárném stupni

o_T [1].....součinitel traťového odporu, vypočtený z rozhodného stoupání s_{rk} ,

$$o_T = s_{rk} \cdot 10^{-3}$$

o_D [1].....součinitel vozidlového odporu, jeho hodnota je určena rychlostí, pro kterou byla stanovena F_{spR}

$$o_D = (a + b \cdot V + c \cdot V^2) \cdot 10^{-3} \quad [1.8]$$

a, b, c.....koeficienty součinitele vozidlového odporu

V [km/h].....rychlost

o_R [1].....součinitel rozjezdového odporu, jeho hodnota se uvádí $o_R = 0,0015$

Protože v trakčních charakteristikách vybraných HV se uvádí tažná síla na obvodu kol F_0 , musíme tažnou sílu na spřáhle pro rozjezd dopočítat. Získáme ji tak, že hnací sílu na obvodu kol snížíme o jízdní odpory HV při rozjezdové rychlosti.

$$F_{spR} = F_{0R} - G_L \cdot o_L \quad [N] \quad [1.9]$$

F_{0R} [N].....tažná síla na obvodu kol pro rozjezd

G_L [N].....tíha hnacího vozidla

o_L [1].....součinitel vozidlového odporu hnacího vozidla

Průjezdový normativ hmotnosti:

Stanovuje se pro průjezd rozhodujícím úsekem na trati pro stanovenou průjezdovou rychlost.

Toto vyjádření rovněž vychází z pohybové rovnice vlaku.

Vztah vyjádřený pro průjezdovou hmotnost:

$$M_P = \frac{F_{spP} - G_L \cdot o_T}{o_D + o_T} \cdot \frac{10^{-3}}{g} \quad [\text{t}] \quad [1.10]$$

F_{spP} [N].....tažná síla na spřáhle určená pro stanovenou průjezdovou rychlost

Průjezdovou rychlost V_P pro stanovení F_{spP} jsem zvolil jako trvalou rychlost na nejvyšším výkonovém stupni. Pro určení o_T se použije hodnota rozhodného stoupání: $o_T = s_{rk} \cdot 10^{-3}$

Hodnotu F_{spP} musíme opět dopočítat odečtem jízdních odporů HV od hnací síly na obvodu kol při průjezdové rychlosti.

$$F_{spR} = F_{0P} - G_L \cdot o_L \quad [1.11]$$

Výpočet technického normativu pro vozidlo E 479.0 ve směru Frýdek-Místek - Český Těšín:

Na počátku stanovíme tíhu hnacího vozidla.

$$G_L = M_L \cdot g \cdot 10^3 = 86 \cdot 9,81 \cdot 10^3 = 843660 \text{ N} \quad [1.12]$$

Z trakční charakteristiky zjistíme, že tažná síla na obvodu kol pro rozjezd je $F_{OR} = 202\,000 \text{ N}$ a rozjezdová rychlost $V_R = 22 \text{ km/h}$

Pro průjezdovou rychlost $V_P = 50 \text{ km/h}$ je tažná síla na obvodu kol $F_{OP} = 144\,000 \text{ N}$

Výpočet rozjezdového normativu:

$$M_R = \frac{F_{spR} - G_L \cdot o_T}{o_D + o_T + o_R} \cdot \frac{10^{-3}}{g} = \frac{199290,7 - 843660 \cdot 0,0154}{0,00146 + 0,0154 + 0,0015} \cdot \frac{10^{-3}}{9,81} = 1034,58 \text{ t}$$

Průjezdový normativ:

$$M_P = \frac{F_{spP} - G_L \cdot o_T}{o_D + o_T} \cdot \frac{10^{-3}}{g} = \frac{139845 - 843660 \cdot 0,0154}{0,00213 + 0,0154} \cdot \frac{10^{-3}}{9,81} = 738,03 \text{ t}$$

Tyto vypočtené normativy se zaokrouhlí na nejbližší nižší celé číslo a poté můžeme stanovit výsledný technický normativ M_T

Výsledný technický normativ:

$$M_T = \min(M_R, M_P) = \min(1034, 738) = 738 \text{ t}$$

Nejvyšší dovolená hmotnost všech dopravovaných vozidel ve směru Frýdek Místek – Český Těšín, kterou je schopna lokomotiva E479.0 dopravit, může být maximálně 738t.

	Frýdek-Místek – Český Těšín	Český Těšín – Frýdek-Místek
	M_T [t]	M_T [t]
Lokomotiva E 479.0	738	730
Lokomotiva E 458.0	463	458

Tab. 11 – Tabulka vypočtených technických normativů pro vybraná hnací vozidla v obou směrech trati

8 VÝPOČET SETRVAČNÉHO SKLONU A SETRVAČNÉHO VÝBĚHOVÉHO SKLONU ^[1]

8.1 Setrvačný sklon

Setrvačný sklon trati je takový sklon, na kterém by daný vlak jel konstantní rychlostí, při dané hnací síle na obvodu kol.

Hodnota s_0 se určí ze vztahu:

$$s_0 = \frac{F_0 - G_L \cdot o_L - G_D \cdot o_D}{G_L + G_D} \cdot 10^3 \quad [\text{‰}] \quad [1.13]$$

Ukázka výpočtu pro lokomotivu E 479.0 při zařazeném 37. hospodárném stupni při trvalé rychlosti $V = 50$ km/h, kdy z trakční charakteristiky odečtená tažná síla na obvodu kol je $F_0 = 144000$ N:

Tíha hnacího vozidla:

$$G_L = M_L \cdot g \cdot 10^3 \quad [\text{N}]$$

$$G_L = 86 \cdot 9,81 \cdot 10^3 = 843660 \text{ N}$$

Tíha tažených vozidel:

Pro výpočet tíhy tažených vozidel je použita hodnota technického normativu pro tuto trať $M_D = M_t$ ve směru Frýdek-Místek – Český Těšín.

$$G_D = M_D \cdot g \cdot 10^3 \text{ N} \quad [1.14]$$

$$G_D = 738 \cdot 9,81 \cdot 10^3 = 7239780 \text{ N}$$

Součinitel vozidlového odporu hnacího vozidla o_L

$$o_L = (a + b \cdot V + c \cdot V^2) \cdot 10^{-3}$$

$$o_L = (2,8 + 0 \cdot 50 + 0,00085 \cdot 50^2) \cdot 10^{-3} = 0,0049$$

Součinitel vozidlového odporu tažených vozidel o_D

$$o_D = (a + b \cdot V + c \cdot V^2) \cdot 10^{-3}$$

$$o_D = (1,3 + 0 \cdot 50 + 0,00033 \cdot 50^2) \cdot 10^{-3} = 0,0021$$

Pak výsledná hodnota s_0 je tedy:

$$s_0 = \frac{144000 - 843660 \cdot 0,0049 - 7239780 \cdot 0,0021}{843660 + 7239780} \cdot 10^3 = 15,40\text{‰}$$

8.2 Výběhový setrvačný sklon

Výběhový setrvačný sklon s_{0V} je takový sklon, na kterém by daný vlak jel konstantní rychlostí při tažné síle na obvodu kol $F_0 = 0$. Vlak tedy jede po spádu, kdy k jízdě využívá své vlastní hmotnosti. Tento způsob jízdy se využívá obzvlášť při přepravě nákladních vlaků, dochází tak k velkým úsporám energie.

Hodnota s_{0V} se určí ze vztahu:

$$s_{0V} = \frac{-G_L \cdot o_L - G_D \cdot o_D}{G_L + G_D} \cdot 10^3 \quad [1.15]$$

Výpočet s_{0V} pro rychlost $V = 50 \text{ km/h}$:

$$s_0 = \frac{-843660 \cdot 0,0049 - 7239780 \cdot 0,0021}{843660 + 7239780} \cdot 10^3 = -2,42$$

Vlak jedoucí výběhem vedený lokomotivou E479.0 by musel jet po spádu $s = -2,42$, aby udržoval konstantní rychlost $v = 50 \text{ km/h}$

V[km/h]	0	10	20	30	40	50	60	70
$G_L \cdot o_L [\text{N}]$	2362,25	2433,96	2649,09	3007,65	3509,63	4155,03	4943,85	5876,09
$G_D \cdot o_D [\text{N}]$	9411,71	9650,63	10367,36	11561,93	13234,32	15384,53	18012,57	21118,44
$S_{0V} []$	-1,46	-1,49	-1,61	-1,80	-2,07	-2,42	-2,84	-3,34

Tab. 12 - Tabulka vypočtených hodnot s_{0V} pro vlak vedený vozidlem E479.0

9 STANOVENÍ PARAMETRŮ JÍZDY VLAKŮ VEDENÝCH VYBRANÝMI ELEKTRICKÝMI VOZIDLY ^[1, 3]

Během jízdy železničních vozidel na trati jsou předmětem zkoumání 3 nejdůležitější parametry.

1. Průběh rychlosti vozidel - tachogram
2. Doba jízdy
3. Spotřeba energie během jízdy

9.1 Výpočet tachogramů jízdy vybraných vlaků

Tachogram znázorňuje závislost rychlosti vozidel na nezávislém parametru. Tento nezávislý parametr může představovat ujetá dráha, pak $V = f(L)$ – dráhový tachogram, nebo jej může představovat čas, pak $V = f(T)$ – časový tachogram.

Metod pro řešení tachogramu je celá řada, tyto metody se dělí na výpočetní a grafické. Pro své řešení jsem využil výpočetní metodu vycházející ze základní rovnice pohybu vlaku. Na začátku stanovíme přebytek měrné tažné síly p_s pro střední rychlost v intervalu ΔV .

$$p_s = s_0 - s_r = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad [\text{‰}] \quad [1.15]$$

p_s [‰].....střední přebytek měrné tažné síly v intervalu ΔV

s_0 [‰].....hodnota setrvačného sklonu pro střední rychlost v intervalu ΔV

s_r [‰].....hodnota redukováného sklonu trati v daném úseku

Pro určení střední hodnoty setrvačného sklonu s_0 musíme znát střední hodnotu rychlosti V_s v intervalu ΔV , tuto rychlost určíme podle vztahu:

$$V_s = V_{i-1} + \frac{1}{2} \cdot \Delta V \quad [\text{km/h}] \quad [1.16]$$

V_{i-1} [km/h].....počáteční rychlost v daném rychlostním kroku

ΔV [km/h].....přírůstek rychlosti v daném kroku

Pokud se v intervalu ΔV nemění redukováný sklon trati, jsme schopni určit, za jaký čas ΔT se tato rychlostní změna uskuteční, a to podle vztahu:

$$\Delta T = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta V}{p_s} \quad [\text{min}] \quad [1.17]$$

Při změně rychlosti ΔV v daném rychlostním kroku platí pro výpočet přírůstku ujeté dráhy ΔL vztah:

$$\Delta L = V_s \cdot \Delta T \cdot \frac{1}{60} \quad [\text{km}] \quad [1.18]$$

9.1.1 Rozjezd vlaku

Při tvorbě tachogramů jízdy jsem volil přírůstky rychlosti mimo rozjezd vlaku maximálně do výše $\Delta V = 3 \text{ km/h}$ z důvodu lepší přesnosti výpočtu.

Během rozjezdu vlaku se může volit vyšší přírůstek rychlosti, ve výpočtech jsem použil hodnotu $\Delta V = 5 \text{ km/h}$. V místě rozjezdu se vlak nacházel na redukovaném sklonu $s_r = 0$

Pro výpočty tachogramy jízdy jsem využíval programu Microsoft Excel.

Ukázka výpočtu:

Výpočet střední rychlosti V_s :

$$V_s = V_{i-1} + \frac{1}{2} \cdot \Delta V = 0 + \frac{1}{2} \cdot 5 = 2,5 \quad [\text{km/h}]$$

Výpočet pro střední přebytek měrné tažné síly:

$$p_s = s_0 - s_r = 26,76 - 0 = 26,76 \text{‰}$$

Střední hodnota s_0 se určila ze vztahu – kde tažná síla F_0 je určena pro střední rychlost $V_s = 2,5$ z trakční charakteristiky daného hnacího vozidla. Pro rozjezd jsem použil tažnou sílu na mezi adheze. Trakční charakteristika vozidla je přiložena v příloze.

Výpočet přírůstku času ΔT :

$$\Delta T = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta V}{p_s} = \frac{1}{2} \cdot \frac{5}{26,76} = 0,093 \text{ min}$$

Výpočet přírůstku ujeté dráhy v daném kroku:

$$\Delta L = V_s \cdot \Delta T \cdot \frac{1}{60} = 2,5 \cdot 0,093 \cdot \frac{1}{60} = 0,004 \text{ km}$$

Interpolace

Ve výpočtovém kroku č.7, kdy je změna rychlosti $\Delta V = -1$ km/h, se vlak na konci tohoto kroku nachází v místě $L = 0,295$ km, v průběhu výpočtu však v tomto kroku dochází v místě $L_S = 0,219$ ke změně redukovaného sklonu na trati a to $s_r = 0 \rightarrow s_r = 5,6$, vlak je tedy za polohou této změny sklonu. Z tohoto důvodu je třeba provést interpolaci výpočtu pro stanovení nových parametrů, které vlak dosáhne v místě změny sklonu.

Postup interpolačního výpočtu:

$$\Delta L_X = L_{Si} - L_{i-1} \quad [\text{km}] \quad [1.19]$$

$$\Delta V_X = \Delta V \cdot \frac{\Delta L_X}{\Delta L} \quad [\text{km/h}] \quad [1.20]$$

$$\Delta T_X = \Delta T \cdot \frac{\Delta L_X}{\Delta L} \quad [\text{min}] \quad [1.21]$$

Podle výše uvedených vzorců se provede interpolace pro 7. výpočtový krok k vypočtení nových parametrů.

$$\Delta L_X = L_{Si} - L_{i-1} = 0,219 - 0,158 = 0,061 \text{ km}$$

$$\Delta V_X = \Delta V \cdot \frac{\Delta L_X}{\Delta L} = -1 \cdot \frac{0,061}{0,137} = -0,4 \text{ km/h}$$

$$\Delta T_X = \Delta T \cdot \frac{\Delta L_X}{\Delta L} = 0,279 \cdot \frac{0,061}{0,137} = 0,125 \text{ min}$$

Tyto nově získané hodnoty jsou zapsány do řádku, který je označen 7*. Výsledná hodnota rychlosti $V_i = 29,6$ km/h je počítána obdobným způsobem jako v předchozích řádcích. Původní řádek, kde dochází ke změně sklonu v průběhu kroku je tedy neplatný a je přeškrtnut. Od řádku 7* se budou početní parametry získávat standardním způsobem až do dalšího kroku, v jehož průběhu bude docházet ke změně sklonu na trati, a tudíž se opět provede interpolační výpočet.

i	RS_i	V_{i-1}	ΔV_i	V_i	V_s	F_0	s_0	s_r	p_s	ΔT_i	ΔL_i	L_i
		[km·h ⁻¹]	[km·h ⁻¹]	[km·h ⁻¹]	[km·h ⁻¹]	[kN]	[‰]	[‰]	[‰]	[min]	[km]	[km]
1	AD(s)	0,0	5,0	5,0	2,5	228	26,75	0,00	26,75	0,093	0,004	0,004
2	AD(s)	5,0	5,0	10,0	7,5	220	25,74	0,00	25,74	0,097	0,012	0,016
3	AD(s)	10,0	5,0	15,0	12,5	213	24,83	0,00	24,83	0,101	0,021	0,037
4	AD(s)	15,0	5,0	20,0	17,5	208	24,16	0,00	24,16	0,103	0,030	0,067
5	AD(s)	20,0	5,0	25,0	22,5	202	23,34	0,00	23,34	0,107	0,040	0,107
6	AD(s)	25,0	5,0	30,0	27,5	198	22,75	0,00	22,75	0,110	0,050	0,158
7	Výběh	30,0	-1,0	29,0	29,5	0	-1,79	0,00	-1,79	0,279	0,137	0,295
7*	Výběh	30,0	-0,4	29,6	29,8			0,00		0,125	0,061	0,219
8	Výběh	29,6	-1,6	28,0	28,8	0	-1,77	5,60	-7,37	0,108	0,052	0,271
9	S	28,0	2,0	30,0	29,0	91	9,48	5,60	3,88	0,258	0,124	0,395
10	Výběh	30,0	-0,5	29,5	29,7	0	-1,80	5,60	-7,40	0,034	0,017	0,412
11	AD(p)	29,5	1,5	31,0	30,2	196	22,44	5,60	16,84	0,045	0,022	0,435
12	AD(p)	31,0	2,0	33,0	32,0	193	22,03	5,60	16,43	0,061	0,032	0,467
13	AD(p)	33,0	2,0	35,0	34,0	192	21,85	5,60	16,25	0,062	0,035	0,502
14	AD(p)	35,0	2,0	37,0	36,0	191	21,68	5,60	16,08	0,062	0,037	0,539
15	AD(p)	37,0	2,0	39,0	38,0	190	21,49	5,60	15,89	0,063	0,040	0,579
16	AD(p)	39,0	1,0	40,0	39,5	189	21,33	5,60	15,73	0,032	0,021	0,600
$\sum_{i=1}^{16} \Delta T_i = 1,460 \text{ min}$												

Tab. 13 - Ukázka tachogramu rozjezdu vlaku vedeného HV E 479.0

Do 16. výpočtového kroku je celková ujetá dráha $L = 0,600 \text{ km}$. Doba jízdy, během které vlak ujede tuto vzdálenost, se určí podle vztahu:

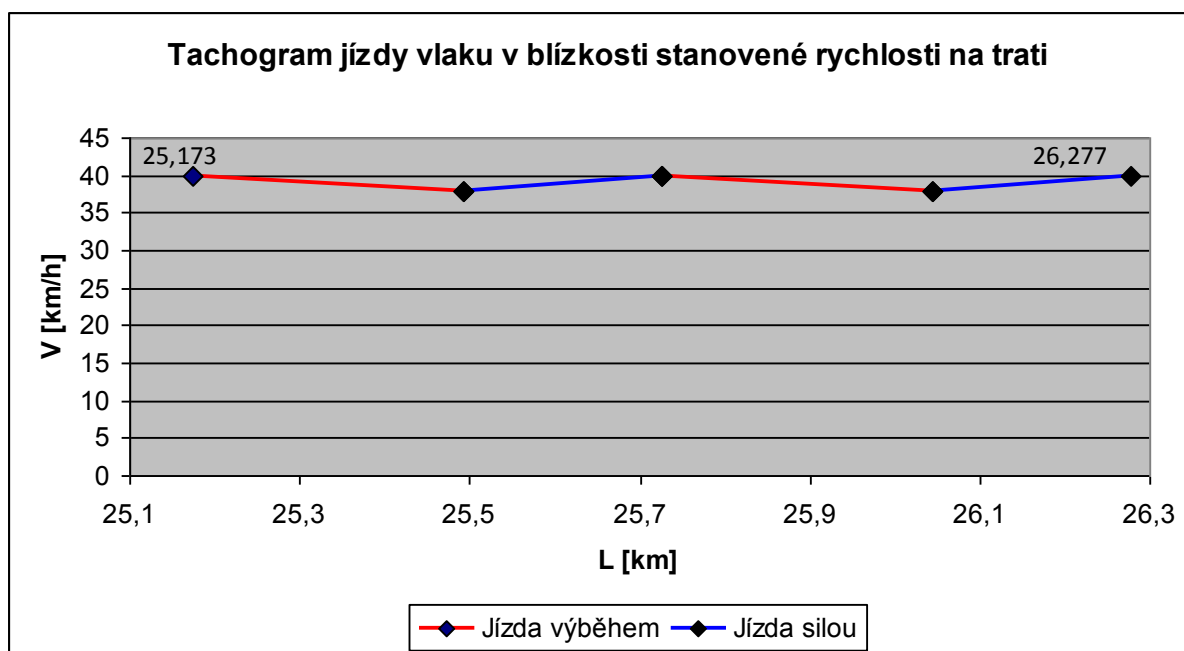
$$T = \sum_{i=1}^{16} \Delta T_i = 1,460 \text{ min} \quad [1.22]$$

Celkový čas je součet přírůstků časů v jednotlivých platných výpočtových krocích.

9.1.2 Technologie jízdy vlaku v blízkosti stanovené rychlosti na trati

Při rychlosti vlaku blízké stanovené na trati jsem používal postupů tak, aby rychlost neklesla více než o 2 km/h pod stanovenou rychlost. Toto pravidlo je závislé na velikosti traťových odporů v daném úseku trati.

Snahou tedy je, aby hnací síla na obvodu kol byla taková, která by se co nejvíce blížila jízdním odporům na trati, to znamená, aby se přebytek měrné tažné síly blížil nule.



Obr. 6 – Ukázka jízdy vlaku při rychlosti blízké stanovené

Pokud se vlak nachází na redukovaném sklonu, který je menší než setrvačný sklon výběhový pro tuto stanovenou rychlost, udržuje se rychlost pomocí brzdného režimu a na celém tomto úseku bude tedy rychlost konstantní, tento postup je možno uplatnit až do místa, kde dojde ke změně sklonu tak, že $S_r > S_{0V}$.

Pokud známe tedy vzdálenost ΔL , na kterém je $S_r < S_{0V}$, můžeme spočítat přírůstek času podle vzorce:

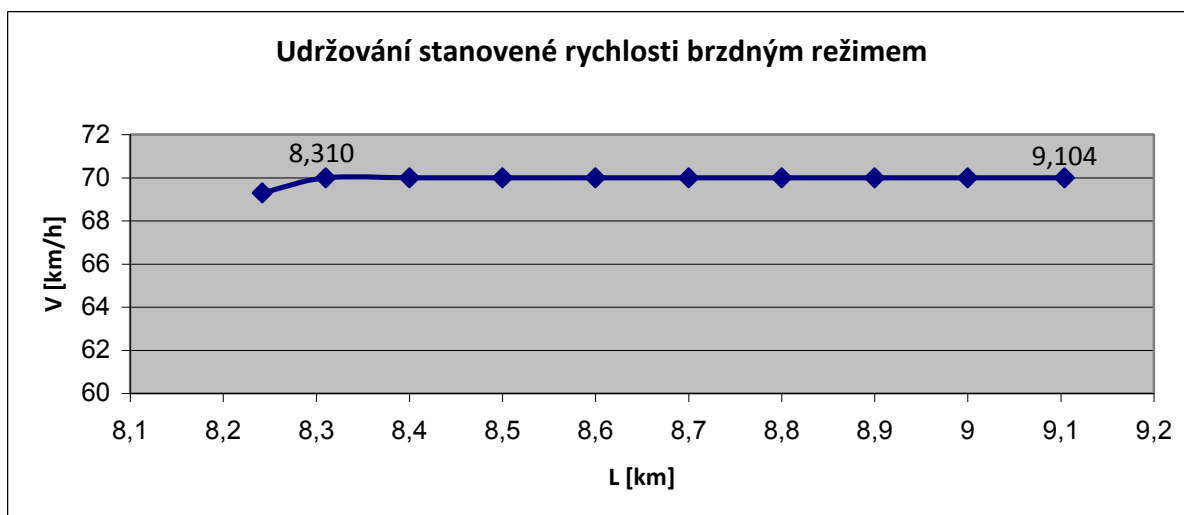
$$\Delta T = \frac{\Delta L}{V_{St}} \cdot 60 \text{ [min]} \quad [1.23]$$

ΔV_{St} [km/h].....stanovená rychlost v daném úseku trati

Ukázka výpočtu pro stanovenou rychlost $v = 70 \text{ km/h}$:

Vlak vedený HV E479.0 se dostane v místě $L_{OV} = 8,242 \text{ km}$ na stanovenou rychlost v daném úseku, což je $v = 70 \text{ km/h}$, v tomto místě je hodnota $S_r = -9,3 \text{ ‰}$ a hodnota $S_{0V} = -3,34 \text{ ‰}$, vlak tedy může udržovat tuto rychlost pomocí brzdného režimu.

V místě $L_{ZS} = 9,104 \text{ km}$ dochází ke změně sklonu z $S_r = -9,3 \text{ ‰} \rightarrow S_r = 14,53 \text{ ‰}$



Obr. 7 – Ukázka jízdy vlaku při rychlosti blízké stanovené pomocí brzdného režimu

Ujetá dráha :

$$\Delta L = L_{zs} - L_{ov} = 9,104 - 8,310 = 0,794 \text{ km}$$

Přírůstek času:

$$\Delta T = \frac{\Delta L}{V_{st}} \cdot 60 = \frac{0,794}{70} \cdot 60 = 0,681 \text{ min}$$

9.1.3 Zastavení vlaku ve stanoveném místě

Ve výpočtech tachogramu jízdy je stanoveno, že vlak bude brzdit při příjezdu do konečných stanic určených s brzdným zpomalením $a_b = -0,3 \text{ m/s}^2$. V této části se tedy budou zabývat výpočty brzdné vzdálenosti s tímto zpomalením tak, aby vlak zastavil čelem na stanoveném místě $L_K = 26,508 \text{ km}$.

Čas t_B , který uplyne od počátku brzdění z počáteční rychlosti V_0 do místa zastavení vychází ze vzorce pro rovnoměrně zrychlený pohyb:

$$V = V_0 - |a_b| \cdot t_b \cdot 3,6 \Rightarrow t_b = -\frac{V - V_0}{3,6 \cdot |a_b|} \text{ [s]} \quad [24]$$

V [km/h].rychlost v místě zastavení, to znamená $V = 0$

V_0 [km/h].počáteční rychlost, na počátku brzdného režimu

Brzdná dráha od počátku brzdění až do zastavení se spočte podle vztahu:

$$L_b = \left(V_0 \cdot t_b - \frac{1}{2} \cdot |a_b| \cdot t_b^2 \right) / 1000 \text{ [km]} \quad [25]$$

Pokud známe místo zastavení a brzdou dráhu, spočteme polohu místa začátku brzdění L_p :

$$L_p = L_K - L_b \text{ [km]}$$

Ukázka výpočtu:

Výpočet času do zastavení z počáteční rychlosti $V_0 = 40 \text{ km/h}$:

$$t_b = -\frac{V - V_0}{3,6 \cdot |a_b|} = -\frac{0 - 40}{3,6 \cdot |-0,3|} = 37,04 \text{ [s]}$$

Výpočet brzdné dráhy:

$$L_b = \left(V_0 \cdot t_b - \frac{1}{2} \cdot |a_b| \cdot t_b^2 \right) / 1000 = \left(\frac{40}{3,6} \cdot 37,04 - \frac{1}{2} \cdot |-0,3| \cdot 37,04^2 \right) / 1000 = 0,206 \text{ km}$$

Poloha místa počátku brzdného režimu:

$$L_p = L_K - L_b = 26,508 - 0,206 = 26,302 \text{ km}$$

Pro výpočty parametrů v průběhu brzdění, které jsou zapsány do tabulky použijeme vztahy:

$$L_{bp}(t) = L_p + \left(V_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot |a_b| \cdot t^2 \right) / 1000 \quad [26]$$

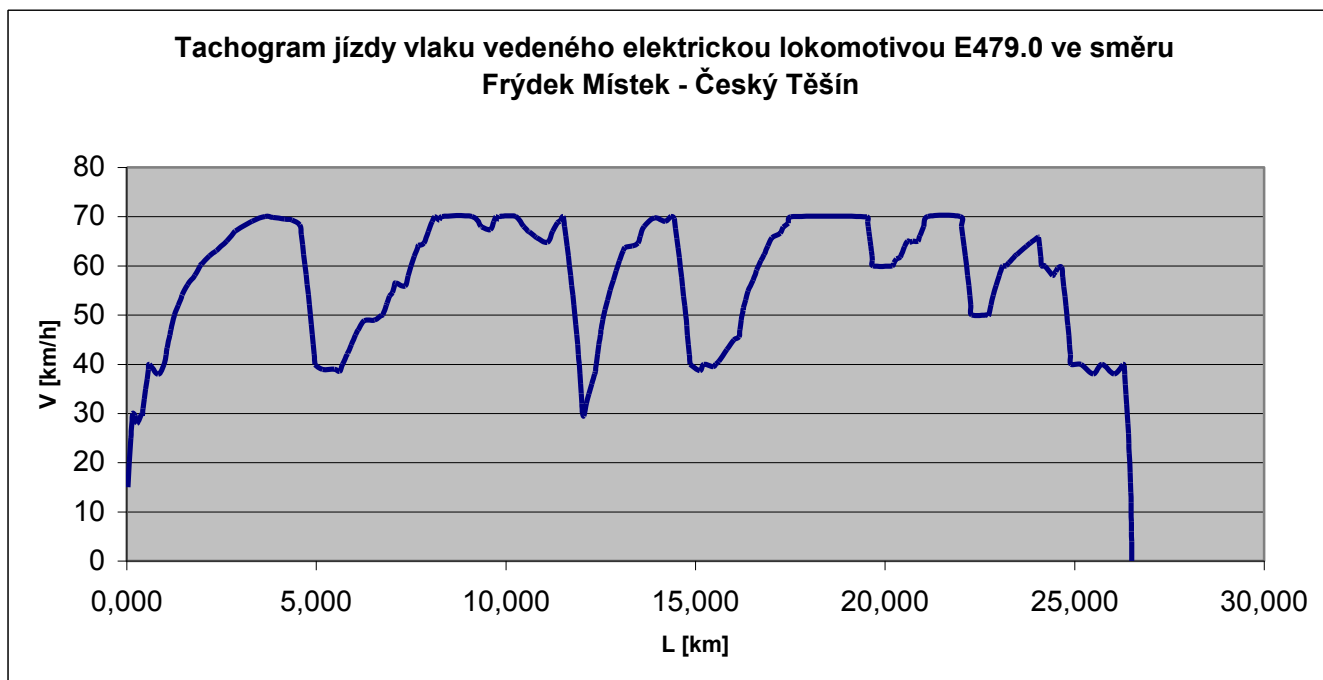
$$v(t) = v_0 - |a_b| \cdot t \cdot 3,6$$

L_{bp} [km].....poloha čela vlaku v průběhu brzdění

Brzdění do stanice Český Těšín		
t [s]	$L_{bp}(t)$ [km]	v(t) [km/h]
0	26,302	40
5	26,354	34,6
10	26,398	29,2
15	26,435	23,8
20	26,464	18,4
25	26,486	13,0
30	26,500	7,6
35	26,507	2,2
$t_b = 37,04$	26,508 – Český Těšín	0,0

Tab. 14 – Brzdění do stanice Český Těšín

Z tabulky můžeme vidět, že režim brzdění vlaku nastává v poloze $L_b = 26,302$ km a do stanice dorazí za čas $t_b = 37,04$ s.



Obr. 8 – Dráhový tachogram vlaku vedeného HV E 479.0

9.2 Spotřeba energie během jízdy

Stanovení spotřeby elektrické energie jízdy vlaku je důležitá část všech trakčních výpočtů, která nám umožňuje vyčíslit jednotlivé ekonomické náklady provozu. Po technické stránce je nezbytným údajem pro stanovení zatížení napájecích stanic, měření, trakčního vedení a jiných zařízení na daném traťovém úseku před plánovanou elektrifikací.

9.2.1 Výpočet spotřeby elektrické energie

Podkladem pro výpočet spotřeby energie je tachogram jízdy konkrétního vlaku a úplná trakční charakteristika hnacího vozidla, jejíž součástí je spotřební charakteristika.

Lokomotivy E 479.0 a E 458.0 mají 4 stejnosměrné trakční motory s regulací výkonu stupňovou odporovou a jsou napájeny napětím $U_N = 3000V$

Energie spotřebovaná jedním trakčním motorem pro vozbu

$$E'_{1TM} = \sum_i U_{1TM} \cdot I_{S1TM} \cdot \Delta t_i \quad [Ws] \quad [1.27]$$

${}_iU_{ITM}$napětí připadající na jeden trakční motor v i-tém úseku

${}_iI_{SITM}$střední hodnota proudu v i-tém úseku

Δt_idoba trvání

Napětí na jednom trakčním motoru U_{ITM} je při sériovém řazení motorů:

$$U_{ITM} = \frac{U_N}{p} = \frac{3000}{4} = 750 \text{ [V]} \quad [1.28]$$

Napětí na motoru při sérioparalelním řazení motorů:

$$U_{ITM} = \frac{U_N}{p} = \frac{3000}{2} = 1500 \text{ [V]}$$

Střední hodnota proudu se počítá jako průměrná hodnota proudu na začátku a na konci daného výpočtového kroku, platí tedy vztah:

$${}_iI_{SITM} = \frac{{}_iI_{ITM1} + {}_iI_{ITM2}}{2} \text{ [A]} \quad [1.29]$$

${}_iI_{ITM1}$velikost proudu na počátku i-tého kroku

${}_iI_{ITM2}$velikost proudu na konci i-tého kroku

V praxi se nejčastěji spotřebovaná energie přepočítává do vedlejších jednotek – [kWh]

Pro přepočet platí vztah:

$$E_{ITM} = k_{kW} \cdot E'_{ITM} \text{ [kWh]} \quad [1.30]$$

k_{kW}konstanta pro převod jednotek

Celková energie spotřebovaná pro vozbu všemi trakčními motory.

$$E_{TR} = E_{ITM} \cdot m \quad [1.31]$$

m počet všech trakčních motorů

Ukázka výpočtu pro hnací vozidlo E 479.0 v prvním výpočtovém kroku $i = 1$, hnací vozidlo jede na mezi adheze, kdy napětí na jednom trakčním motoru je $U_N = 750 \text{ V}$ a přírůstek času v tomto kroku je $\Delta t = 0,093 \text{ min}$:

Odečtené hodnoty proudu procházející trakčním motorem na počátku a na konci kroku:

$$I_{1TM1} = 520 \text{ A}$$

$$I_{1TM2} = 505 \text{ A}$$

Střední hodnota proudu:

$$I_{S1TM} = \frac{I_{1TM1} + I_{1TM2}}{2} = 512,5 \text{ A}$$

Energie spotřebovaná pro vozbu jedním trakčním motorem:

$$E'_{1TM} = \sum_i U_{1TM} \cdot I_{S1TM} \cdot \Delta t = 750 \cdot 512,5 \cdot 0,093 \cdot 60 = 2155627 \text{ [Ws]}$$

Spotřebovaná energie převedená do vedlejších jednotek:

$$E_{1TM} = k_{kW} \cdot E'_{1TM} = \frac{10^{-3}}{3600} \cdot 2155627 = 0,599 \text{ kWh}$$

Celková energie spotřebovaná 4 trakčními motory:

$$E_{TR} = E_{1TM} \cdot m = 2,371 \text{ kWh}$$

i	RS_i	V_{i-1}	ΔV_i	V_i	ΔT_i	U_{1TMi}	I_{1TM1i}	I_{1TM2i}	I_{1TMSi}	E'_{1TMi}	E_{1TMi}
		[km·h ⁻¹]	[km·h ⁻¹]	[km·h ⁻¹]	[min]	[U]	[A]	[A]	[A]	[Ws]	[kWh]
1	AD(s)	0,0	5,0	5,0	0,093	750	520	505	512,5	2155627	0,60
2	AD(s)	5,0	5,0	10,0	0,097	750	505	485	495,0	2163632	0,60
3	AD(s)	10,0	5,0	15,0	0,101	750	485	480	482,5	2185801	0,61
4	AD(s)	15,0	5,0	20,0	0,103	750	480	470	475,0	2212057	0,61
5	AD(s)	20,0	5,0	25,0	0,107	1500	470	460	465,0	4482980	1,25
6	AD(s)	25,0	5,0	30,0	0,110	1500	460	455	457,5	4525250	1,26
7*	Výběh	30,0	-0,4	29,6	0,125	-	-	-	-	-	-
8	Výběh	29,6	-1,6	28,0	0,108	-	-	-	-	-	-
9	S	28,0	2,0	30,0	0,258	750	273	255	264,0	3062733	0,85
10	Výběh	30,0	-0,5	29,5	0,034	-	-	-	-	-	-
11	AD(p)	29,5	1,5	31,0	0,045	1500	455	453	454,0	1819775	0,51
12	AD(p)	31,0	2,0	33,0	0,061	1500	453	450	451,5	2473662	0,69
13	AD(p)	33,0	2,0	35,0	0,062	1500	450	449	449,5	2489125	0,69
14	AD(p)	35,0	2,0	37,0	0,062	1500	449	448	448,5	2511001	0,70
15	AD(p)	37,0	2,0	39,0	0,063	1500	448	447	447,5	2533855	0,70

16	AD(p)	39,0	1,0	40,0	0,032	1500	447	445	446,0	1276196	0,35
$\sum_{i=1}^{16} E_{ITMi}$										9,41	

Tab. 15 – Ukázka výpočtu elektrické energie

Z tabulky můžeme vidět, že spotřebovaná energie jedním trakčním motorem v daném úseku tratě je $E_{ITM} = 9,41$ kWh

Potom spotřebovaná energie pro vozbu všemi čtyřmi trakčními motory bude :

$$E_{TR} = E_{ITM} \cdot m = 9,41 \cdot 4 = 37,66 \text{ kWh}$$

Celková energie stanovená na sběrači hnacího vozidla:

$$E_C = E_{TR} + E_{PZ} + E_{NAP} + E_Z \quad [1.32]$$

E_{TR} [kWh].....energie spotřebovaná pro vozbu

E_{PZ} [kWh].....energie spotřebovaná pro pohon pomocných zařízení vozidla

E_{NAP} [kWh].....energie spotřebovaná taženými vozidly

E_Z [kWh].....energie spotřebovaná pro pokrytí ztrát

Energie spotřebovaná pro pohon pomocných zařízení:

Je to část energie, kterou spotřebovává hnací vozidlo pro pohon pomocných zařízení na hnacím vozidle během jízdy i při stání. Jsou jimi například kompresory nebo ventilátory, atd.

Pro výpočet platí vztah:

$$E_{PZ} = \kappa \cdot E_{TR} \text{ [kWh]} \quad [1.33]$$

κ [1].....poměrná spotřeba pomocných pohonů, pro hnací vozidla stejnosměrné vozby se uvádí hodnota $\kappa = 0,02$

Energie spotřebovaná taženými vozidly

Je to energie potřebná pro napájení tažených vozidel např. na vytápění nebo klimatizaci. Jelikož výpočty jsou prováděny pro nákladní vlaky, stanovil jsem tuto hodnotu $E_{NAP} = 0$.

Energie spotřebovaná pro pokrytí ztrát

Jedná se o energii spotřebovanou na pokrytí ztrát, která není součástí ztrátové energie při regulaci výkonu. U vybraných hnacích vozidel jsou všechny ztráty součástí předchozích výpočtů. Hodnota tedy bude $E_Z = 0$.

Celková energie spotřebována na daném úseku daného v tabulce:

$$E_C = E_{TR} + E_{PZ} + E_{NAP} + E_Z = 37,66 + 0,02 \cdot 37,66 + 0 + 0 = 38,41 \text{ kWh}$$

10 STANOVENÍ PARAMETRŮ JÍZDY VLAKU VEDENÉHO MOTOROVÝM HNACÍM VOZIDLEM ŘADY 742 [1, 8, 11]

Motorové hnací vozidlo řady 742 jsem vybral z toho důvodu, jelikož je velice vytíženým na této trati a je tedy vhodné srovnat parametry jízdy vlaku vedeného tímto vozidlem s vybranými vozidly elektrické trakce.

Pro výpočty je nutné zjistit hmotnost tažených vozidel, které je toto HV schopno dopravit na této trati v obou směrech jízdy. Tyto parametry jsem zjistil ze sešitového jízdního řádu, v němž je uveden technický normativ pro jednotlivé směry.

	Frýdek-Místek – Český Těšín	Český Těšín – Frýdek-Místek
	M_T [t]	M_T [t]
Lokomotiva 742	530	580

Tab. 16 – Tabulka technických normativů [8]

Základní technické údaje lokomotivy řady 742

Uspořádání pojezdu	Bo'Bo'
Průměr hnacích dvojkolí	1000 mm
Délka přes nárazníky	13 580 mm
Rozchod	1435 mm
Trvalý výkon SM	883 kW
Objem SM	64,8 l
Trvalá tažná síla	120 kN
Nejvyšší rychlost	90 km/h
Trvalá rychlost	19,6 km/h
Služební hmotnost	64 t

Tab. 17 – Základní technické údaje lokomotivy řady 742

10.1 Výpočet tachogramu jízdy vlaku

Tvorba tachogramu probíhá stejným způsobem jako u vlaků vedených elektrickými hnací vozidly. Přírůstky rychlosti jsou opět voleny mimo rozjezd vlaku maximálně do výše $\Delta V = 3 \text{ km/h}$. Technologie jízdy při rychlosti blízké stanovené je rovněž stejná a taktéž brzdění do stanic určení probíhá s brzdovým zpomalením $a_b = -0,3 \text{ m/s}^2$.

Pro názornost je níže uvedena tabulka tachogramu při rozjezdu vlaku:

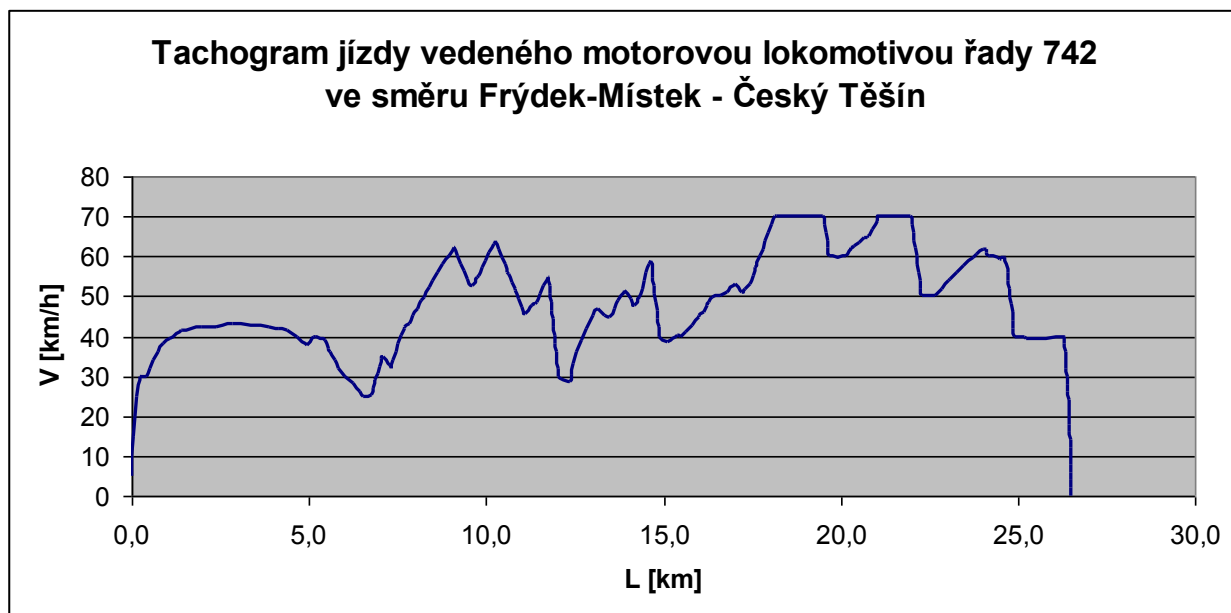
i	RS_i	V_{i-1}	ΔV_i	V_i	V_s	$F0$	s_0	s_r	p_s	ΔT_i	ΔL_i	L_i
		[km·h ⁻¹]	[km·h ⁻¹]	[km·h ⁻¹]	[km·h ⁻¹]	[kN]	[‰]	[‰]	[‰]	[min]	[km]	[km]
1	AD(5°)	0,0	5,0	5,0	2,5	152	24,6208	0,00	24,621	0,102	0,004	0,004
2	AD(6°)	5,0	5,0	10,0	7,5	144	23,2286	0,00	23,229	0,108	0,013	0,018
3	AD(7°)	10,0	5,0	15,0	12,5	139	22,3320	0,00	22,332	0,112	0,023	0,041
4	AD(8°)	15,0	5,0	20,0	17,5	133	21,2444	0,00	21,244	0,118	0,034	0,075
5	8°	20,0	5,0	25,0	22,5	106	16,5337	0,00	16,534	0,151	0,057	0,132
6	8°	25,0	5,0	30,0	27,5	88	13,3482	0,00	13,348	0,187	0,086	0,218
7	Výběh	30,0	-1,0	29,0	29,5	0	-1,7976	0,00	-1,798	0,278	0,137	0,355
7*	Výběh	30,0	-0,01	30,0	30,0			0,00		0,002	0,001	0,219
8	5°	30,0	-0,2	29,8	29,9	42	5,4005	5,60	-0,199	0,376	0,187	0,406
9	8°	29,8	2,2	32,0	30,9	78	11,5544	5,60	5,954	0,185	0,095	0,502
10	8°	32,0	2,0	34,0	33,0	73	10,6445	5,60	5,045	0,198	0,109	0,611
11	8°	34,0	2,0	36,0	35,0	70	10,0771	5,60	4,477	0,223	0,130	0,741
12	8°	36,0	2,0	38,0	37,0	66	9,3350	5,60	3,735	0,268	0,165	0,907
13	8°	38,0	2,0	40,0	39,0	64	8,4182	5,60	2,818	0,355	0,234	1,138
13*	8°	38,0	1,4	39,4	38,7			5,60		0,248	0,161	1,068
14	8°	39,4	2,0	41,4	40,4	60	8,2037	6,30	1,904	0,525	0,354	1,422
$\sum_{i=1}^{14} \Delta T_i = 2,803 \text{ min}$												

Tab. 18 – Tabulka tachogramu rozjezdu vlaku

Z tabulky je zřejmé, že do 14. výpočtového kroku je celková ujetá dráha $L = 1,422 \text{ km}$.

Celkový čas, za který vlak ujede tuto vzdálenost, je součet časů ve všech platných krocích.

$$T = \sum_{i=1}^{14} \Delta T_i = 2,803 \text{ min}$$



Obr. 9 – dráhový tachogram vlaku vedeného HV řady 742

10.2 Výpočet spotřeby paliva

Podkladem pro výpočet spotřeby paliva je stejně jako u elektrických vozidel tachogram jízdy vlaku, z kterého musí být patrné použití jednotlivých regulačních stupňů a z kterého se poté určí celková doba využití T_{ci} jednotlivých stupňů včetně volnoběhu. Pro tyto regulační stupně je v tabulce, která je součástí trakční charakteristiky vozidla, určena spotřeba paliva za jednotku času na těchto stupních.

Trakční charakteristika je uvedena v příloze.

$$T_{ci} = \sum_j \Delta T_{ij} \quad [\text{min}] \quad [1.33]$$

ΔT_{ij}doba použití j-tého stupně v i-tém kroku konstrukce tachogramu jízdy

Celková spotřeba paliva je dána vztahem:

$$B_C = \frac{1}{60} \cdot \left[\sum_{i=0}^n b_i \cdot T_{ci} + b_{top} \cdot T_{ctop} \right] \quad [\text{l} \cdot \text{h}^{-1}] \quad [1.34]$$

$b_i \quad [\text{l} \cdot \text{h}^{-1}]$měrná spotřeba na i-tém regulačním stupni

$b_{top} \quad [\text{l} \cdot \text{h}^{-1}]$měrná spotřeba na topení

$T_{ctop} \quad [\text{min}]$celková doba topení

Ve výpočtech spotřeby paliva nepočítám se spotřebou na topení, jelikož se výpočet vztahuje na nákladní vlak.

Ukázkový výpočet spotřeby paliva pro prvních 6 výpočtových kroků, během kterých hnací vozidlo využívá 4 regulační stupně, a to 5°, 6°, 7°, 8°. Měrné spotřeby pro tyto stupně jsou $b_5 = 135 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$, $b_6 = 172 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$, $b_7 = 215 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$, $b_8 = 250 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$

Celkový čas jedoucí na 5°:

$$T_{ci} = \sum_j \Delta T_{ij} = 0,102 \text{ min}$$

Celkový čas jedoucí na 6°:

$$T_{ci} = \sum_j \Delta T_{ij} = 0,108 \text{ min}$$

Celkový čas jedoucí na 7°:

$$T_{ci} = \sum_j \Delta T_{ij} = 0,112 \text{ min}$$

Celkový čas jedoucí na 8°:

$$T_{ci} = \sum_j \Delta T_{ij} = 0,118 + 0,151 + 0,187 = 0,456 \text{ min}$$

Celková spotřeba paliva na ukázkovém úseku:

$$B_C = \frac{1}{60} \cdot \sum_{i=0}^n b_i \cdot T_{ci} = \frac{1}{60} \cdot (b_5 \cdot T_{c5} + b_6 \cdot T_{c6} + b_7 \cdot T_{c7} + b_8 \cdot T_{c8})$$

$$B_C = \frac{1}{60} \cdot (135 \cdot 0,102 + 172 \cdot 0,108 + 215 \cdot 0,112 + 250 \cdot 0,456) = 2,84 \text{ l}$$

i	RS_i	V_{i-1}	ΔV_i	V_i	V_s	ΔT_i	B_C
		[km·h ⁻¹]	[km·h ⁻¹]	[km·h ⁻¹]	[km·h ⁻¹]	[min]	[l]
1	AD(5°)	0,0	5,0	5,0	2,5	0,102	0,228
2	AD(6°)	5,0	5,0	10,0	7,5	0,108	0,309
3	AD(7°)	10,0	5,0	15,0	12,5	0,112	0,401
4	AD(8°)	15,0	5,0	20,0	17,5	0,118	0,490
5	8°	20,0	5,0	25,0	22,5	0,151	0,630
6	8°	25,0	5,0	30,0	27,5	0,187	0,780
7*	Výběh	30,0	-0,01	30,0	30,0	0,002	0,001
8	5°	30,0	-0,2	29,8	29,9	0,376	0,846
9	8°	29,8	2,2	32,0	30,9	0,185	0,770
10	8°	32,0	2,0	34,0	33,0	0,198	0,826
11	8°	34,0	2,0	36,0	35,0	0,223	0,931
12	8°	36,0	2,0	38,0	37,0	0,268	1,116
13*	8°	38,0	1,4	39,4	38,7	0,248	1,033
14	8°	39,4	2,0	41,4	40,4	0,525	2,189
$B_C = 10,550 \text{ l}$							

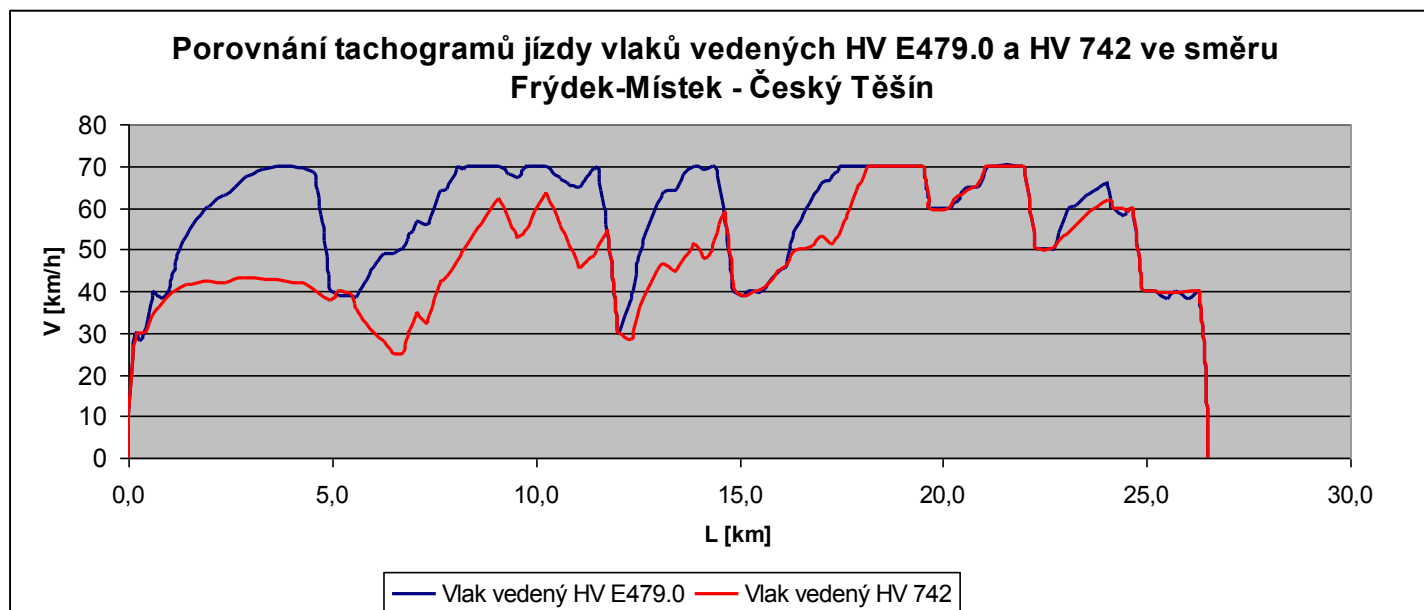
Tab. 19 – Tabulka výpočtu spotřeby nafty pro prvních 14 úseků

Z tabulky můžeme vidět, že celková spotřebovaná nafta během prvních 14 výpočtových kroků je $B_C = 10,550 \text{ l}$

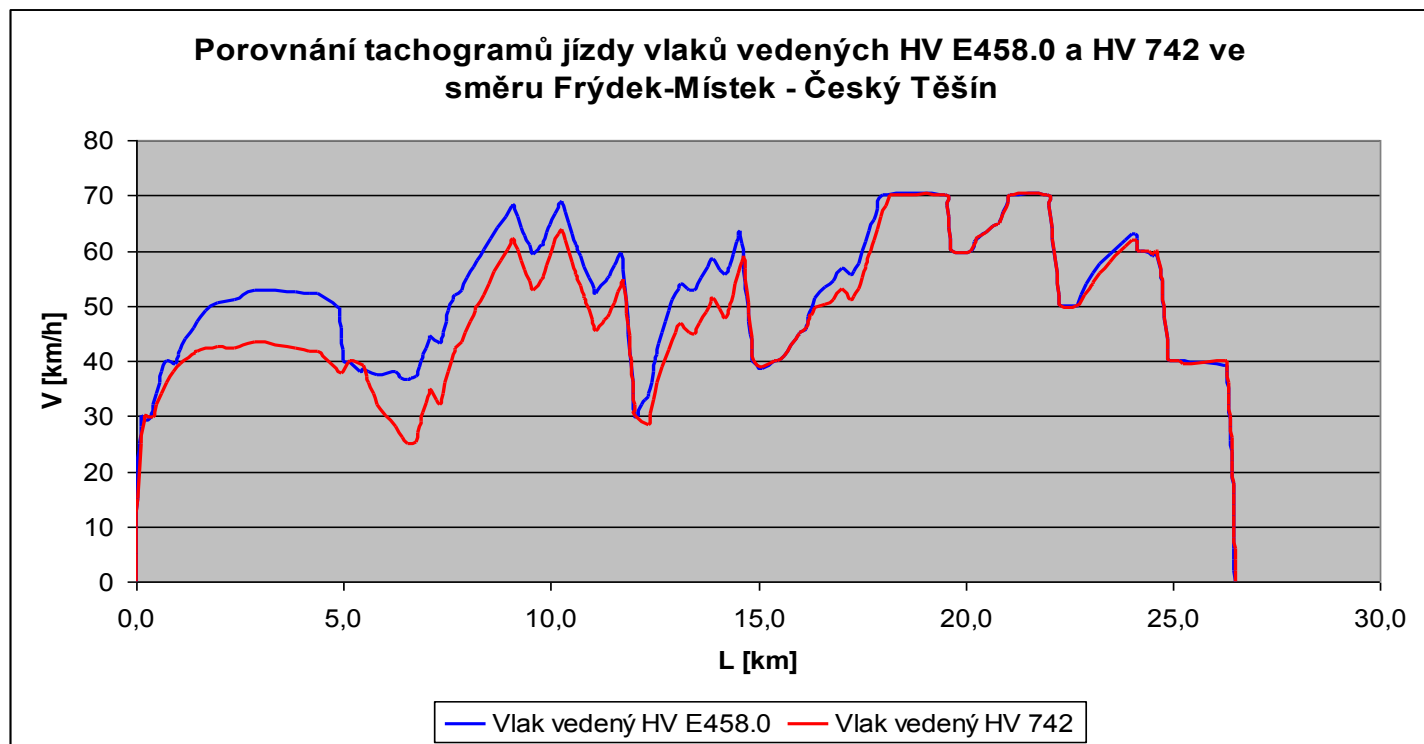
11 POROVNÁNÍ PARAMETRŮ JÍZDY VLAKŮ ELEKTRICKÉ A MOTOROVÉ TRAKCE V OBOU SMĚRECH TRATI [1, 6, 13]

11.1 Porovnání parametrů jízdy vybraných vlaků ve směru Frýdek-Místek – Český Těšín

11.1.1 Grafické porovnání tachogramů jízdy vlaků



Obr. 10 – Porovnání dráhových tachogramů vedených HV E 479.0 a HV řady 742



Obr. 11 – Porovnání dráhových tachogramů vedených HV E 458.0 a HV řady 742

Z obrázku 10 je zřejmé, že vlak vedený HV 742 nedosáhne maximální traťové rychlosti 70 km/h ve stejných místech jako vlak vedený HV E479.0, dosáhne jej pouze v těch místech trati, kde jsou spády o vysoké hodnotě. V těchto místech se tachogramy vlaků překrývají a rychlost je udržována brzděním režimem.

Z obrázku 11 můžeme vidět, že profily jízdy vlaků jsou si velice podobné, avšak při rozdílné velikosti rychlosti. Jelikož jsou obě HV menšího výkonu, vlaky nedosahují maximální traťové rychlosti mimo úseků se strmými spády.

Pro jednotlivá hnací vozidla uvedu stanovené technické normativy, aby byla zřejmá dopravovaná hmotnost těmito vozidly.

	M_T [t]
Elektrická lokomotiva E 479.0	738
Elektrická lokomotiva E 458.0	463
Motorová lokomotiva 742	530

Tab. 20 – Technické normativy pro vybraná HV

11.1.2 Porovnání jízdních dob

Celková jízdní doba vlaku vedeného HV E 479.0

$$T_j = \sum_{i=1} \Delta T_i = 29,52 \text{ min}$$

Celková jízdní doba vlaku vedeného HV E 458.0

$$T_j = \sum_{i=1} \Delta T_i = 32,06 \text{ min}$$

Celková jízdní doba vlaku vedeného HV 742

Celková doba jízdy:

$$T_j = \sum_{i=1} \Delta T_i = 35,31 \text{ min}$$

11.1.3 Porovnání spotřeby energie vlaků

Celková spotřeba elektrické energie vlaku vedeného HV E 479.0

Celková energie spotřebovaná 1 trakčním motorem:

$$E_{1TM} = 129,35 \text{ kWh}$$

Celková energie spotřebovaná všemi čtyřmi trakčními motory:

$$E_{TR} = E_{ITM} \cdot m = 129,35 \cdot 4 = 517,42 \text{ kWh}$$

Celková energie spotřebovaná pro pohon pomocných zařízení:

$$E_{PZ} = \kappa \cdot E_{TR} = 0,02 \cdot 517,42 = 10,35 \text{ kWh}$$

Celkovou spotřebovaná elektrická energie je pak dána součtem

$$E_C = E_{TR} + E_{PZ} + E_{NAP} + E_Z = 517,42 + 10,35 + 0 + 0 = 527,77 \text{ kWh}$$

Finanční vyjádření nákladů:

Předpokládaná cena za 1 kWh pro ČD = 3 Kč

Potom celková suma nákladu na jízdu tohoto vlaku je $527,77 \times 3 = 1583$ Kč.

Celková spotřeba elektrické energie vlaku vedeného HV E 458.0

Celková energie spotřebovaná 1 trakčním motorem:

$$E_{ITM} = 63,35 \text{ kWh}$$

Celková energie spotřebovaná všemi čtyřmi trakčními motory:

$$E_{TR} = E_{ITM} \cdot m = 63,35 \cdot 4 = 253,41 \text{ kWh}$$

Celková energie spotřebovaná pro pohon pomocných zařízení:

$$E_{PZ} = \kappa \cdot E_{TR} = 0,02 \cdot 253,41 = 5,07 \text{ kWh}$$

Celkovou spotřebovaná elektrická energie pak dána součtem:

$$E_C = E_{TR} + E_{PZ} + E_{NAP} + E_Z = 253,41 + 5,07 + 0 + 0 = 258,48 \text{ kWh}$$

Finanční vyjádření nákladů:

Předpokládaná cena za 1 kWh pro ČD = 3 Kč

Potom celková suma nákladu na jízdu tohoto vlaku je $258,48 \times 3 = 776$ Kč.

Celková spotřeba paliva vlaku vedeného HV 742

$$B_C = \frac{1}{60} \cdot \left[\sum_{i=0}^n b_i \cdot T_{ci} + b_{top} \cdot T_{ctop} \right] = 93,11 \text{ l}$$

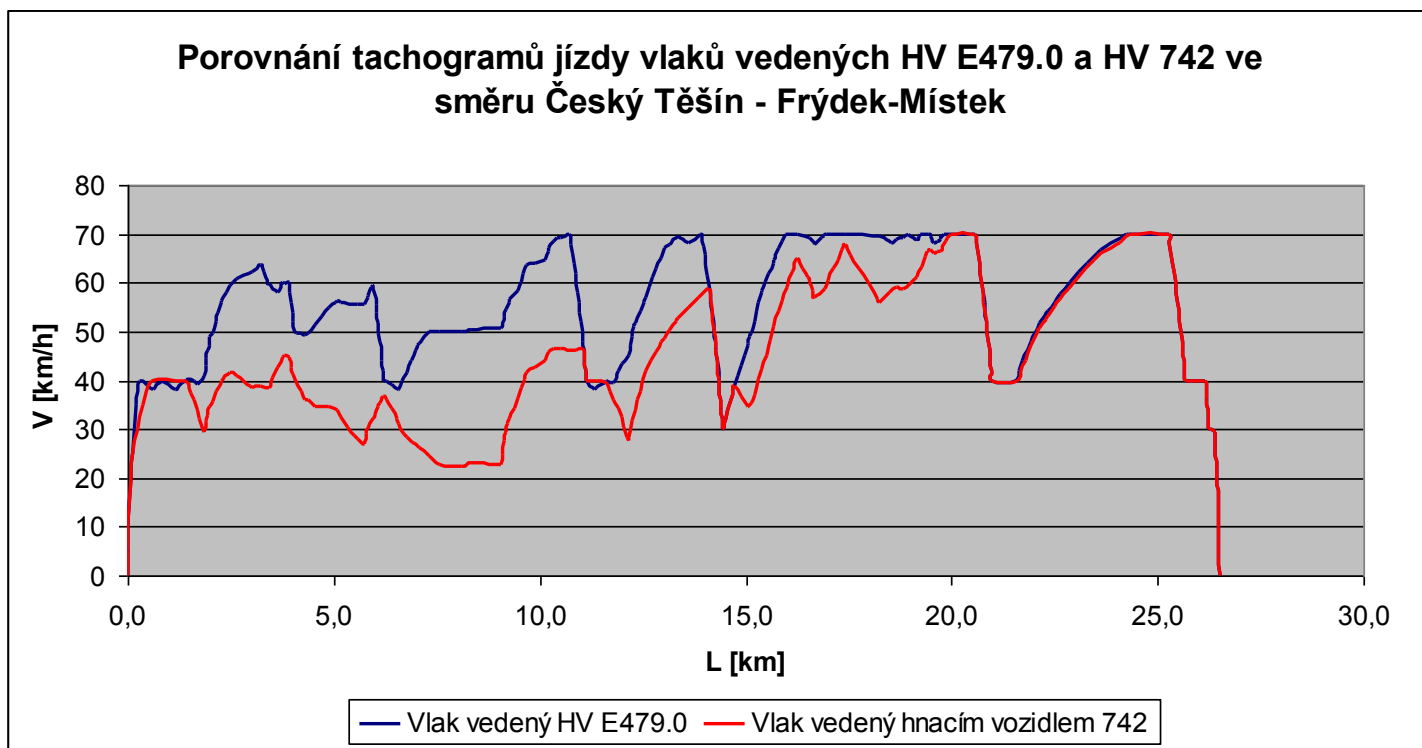
Finanční vyjádření nákladů:

Předpokládaná cena za 1 l nafty pro ČD = 29,67 Kč

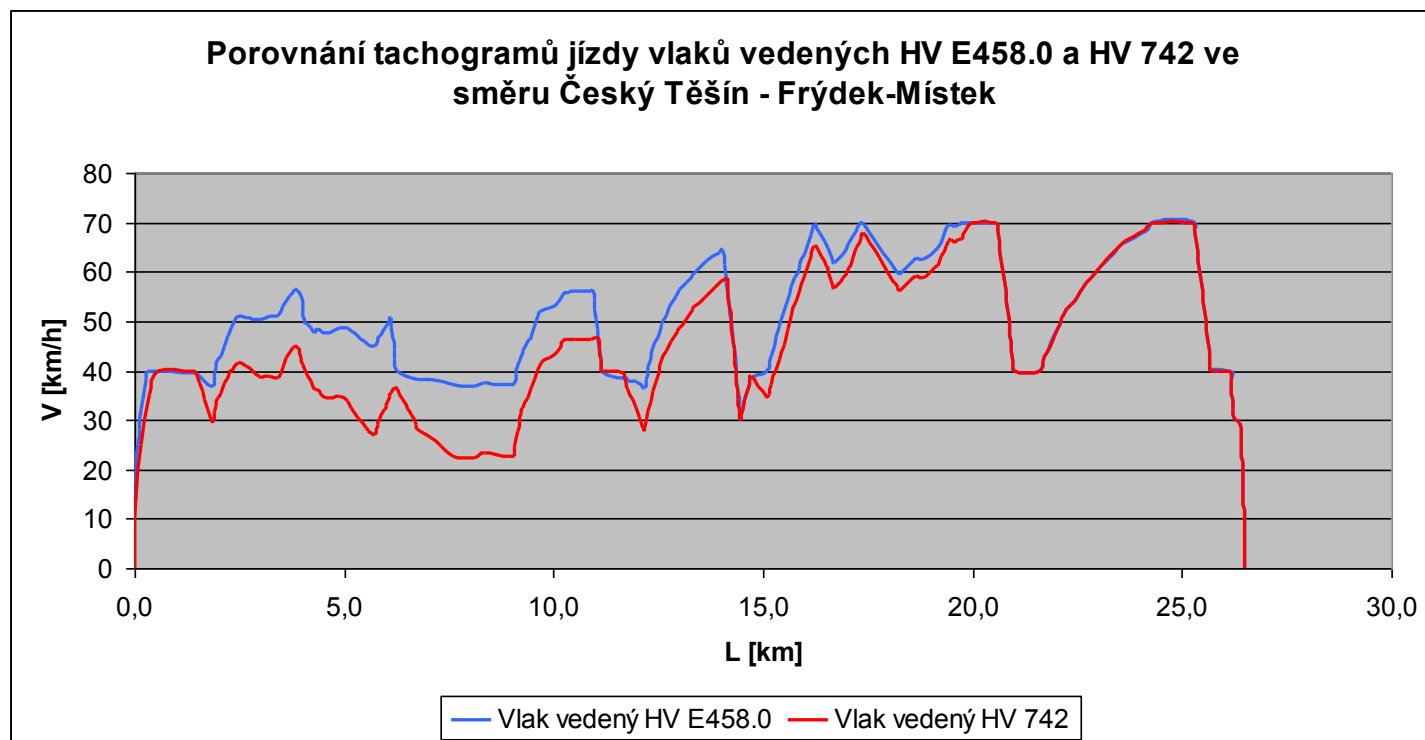
Potom celková suma nákladů na jízdu tohoto vlaku je $93,11 \times 29,67 = 2763$ Kč.

11.2 Porovnání parametrů jízdy vybraných vlaků ve směru Český Těšín – Frýdek - Místek

11.2.1 Grafické porovnání tachogramů jízd vlaků



Obr. 12 – Porovnání dráhových tachogramů vedených HV E 479.0 a HV řady 742



Obr. 13 – Porovnání dráhových tachogramů vedených HV E 458.0 a HV řady 742

Z obrázků jsou patrné podobné poznatky jako pro opačný směr jízdy. Vlak vedený HV E 479.0 dosahuje maximální traťové rychlosti v mnoha místech, na rozdíl od HV E 458.0, které tuto rychlost dosahuje pouze v některých úsecích. Motorové HV řady 742 se dokáže dostat na danou maximální traťovou rychlost pouze, pohybuje-li se po spádech, které na sebe souvisle navazují.

	M_T [t]
Elektrická lokomotiva E 479.0	730
Elektrická lokomotiva E 458.0	458
Motorová lokomotiva 742	580

Tab. 21 – Technické normativy pro vybraná HV

11.2.2 Porovnání jízdních dob

Celková jízdní doba vlaku vedeného HV E 479.0

$$T_j = \sum_{i=1} \Delta T_i = 30,37 \text{ min}$$

Celková jízdní doba vlaku vedeného HV E 458.0

$$T_j = \sum_{i=1} \Delta T_i = 32,89 \text{ min}$$

Celková jízdní doba vlaku vedeného HV 742

Celková doba jízdy:

$$T_j = \sum_{i=1} \Delta T_i = 39,12 \text{ min}$$

11.2.3 Porovnání spotřeby energie vlaků

Celková spotřeba elektrické energie vlaku vedeného HV E 479.0

Celková energie spotřebovaná 1 trakčním motorem:

$$E_{1TM} = 128,85 \text{ kWh}$$

Celková energie spotřebovaná všemi čtyřmi trakčními motory:

$$E_{TR} = E_{1TM} \cdot m = 128,85 \cdot 4 = 515,40 \text{ kWh}$$

Celková energie spotřebovaná pro pohon pomocných zařízení:

$$E_{PZ} = \kappa \cdot E_{TR} = 0,02 \cdot 525,71 = 10,308 \text{ kWh}$$

Celkovou spotřebovaná elektrická energie je pak dána součtem

$$E_C = E_{TR} + E_{PZ} + E_{NAP} + E_Z = 520,46 + 10,41 + 0 + 0 = 525,71 \text{ kWh}$$

Finanční vyjádření nákladů:

Předpokládaná cena za 1 kWh pro ČD = 3 Kč

Potom celková suma nákladu na jízdu tohoto vlaku je $525,71 \times 3 = 1577$ Kč.

Celková spotřeba elektrické energie vlaku vedeného HV E 458.0

Celková energie spotřebovaná 1 trakčním motorem:

$$E_{1TM} = 69,63 \text{ kWh}$$

Celková energie spotřebovaná všemi čtyřmi trakčními motory:

$$E_{TR} = E_{1TM} \cdot m = 69,63 \cdot 4 = 278,50 \text{ kWh}$$

Celková energie spotřebovaná pro pohon pomocných zařízení:

$$E_{PZ} = \kappa \cdot E_{TR} = 0,02 \cdot 278,50 = 5,57 \text{ kWh}$$

Celkovou spotřebovaná elektrická energie pak dána součtem:

$$E_C = E_{TR} + E_{PZ} + E_{NAP} + E_Z = 278,50 + 5,57 + 0 + 0 = 284,07 \text{ kWh}$$

Finanční vyjádření nákladů:

Předpokládaná cena za 1 kWh pro ČD = 3 Kč

Potom celková suma nákladu na jízdu tohoto vlaku je $284,07 \times 3 = 852,22$ Kč.

Celková spotřeba paliva vlaku vedeného HV 742

$$B_C = \frac{1}{60} \cdot \left[\sum_{i=0}^n b_i \cdot T_{ci} + b_{top} \cdot T_{ctop} \right] = 109,72 \text{ l}$$

Finanční vyjádření nákladů:

Předpokládaná cena za 1 l nafty pro ČD = 29,67 Kč

Potom celková suma nákladů na jízdu tohoto vlaku je $109,72 \times 29,67 = 3255$ Kč.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo na základě technické analýzy trati stanovit technické normativy pro vlaky tvořené vybranými elektrickými hnacími vozidly a poté vypočítat parametry pohybů těchto vlaků včetně energetické spotřeby během jízdy a následně tyto získané hodnoty porovnat s vypočtenými parametry pro vlak vedený hnacím vozidlem motorové trakce, který je na této trati pravidelně jedoucí.

Pro výpočty byla vybrána elektrická hnací vozidla E 479.0 a E 458.0 a motorové hnací vozidlo řady 742.

Po provedení analýzy trati a výpočtu rozhodného stoupání byly stanoveny technické normativy. Ve směru Frýdek-Místek – Český Těšín byly hodnoty určeny 738 t pro vlak vedený hnacím vozidlem E 479.0 a 463 t pak pro vlak vedený hnacím vozidlem E 458.0. V opačném směru jízdy pak 730 t a 458 t.

Vypočtení parametrů jízdy těchto vlaků ukázalo, že případnou elektrifikací by se snížily jízdní doby. Ve směru Frýdek-Místek – Český Těšín činil rozdíl jízdních dob u vlaku vedeného hnacím vozidlem E 479.0 5,79 min a u vozidla E 458.0 3,25 min v porovnání s vlakem vedeným motorovým hnacím vozidlem řady 742. V opačném směru jízdy je tento rozdíl dokonce 8,75 min a 6,23 min.

Další výpočty však ukázaly největší rozdíl ve spotřebě energie během jízdy. Ve směru Frýdek – Místek - Český Těšín hnací vozidlo E 479.0 dopravující hmotnost 738 t odebírá celkovou energii 527,77 kWh, což představuje finanční náklady po celkovém vyčíslení 1583 Kč při uvažované ceně 3Kč/kWh.

Dále pak finanční náklady pro vozidlo E 458.0 dopravující hmotnost 463 t činí 776 Kč. Náklady na dopravenou hmotnost 530 t motorovým hnacím vozidlem jsou 2763 Kč při spotřebě 93,11 l při ceně 29,67 Kč. V opačném směru jízdy jsou náklady ještě výraznější. Finanční náklady činí 1577 Kč pro HV E 479.0 při dopravované hmotnosti 730 t, 852 Kč pro HV E 458.0 při dopravované hmotnosti 458 t a konečně 3255 Kč pro dopravovanou hmotnost 580 t u motorového vozidla řady 742.

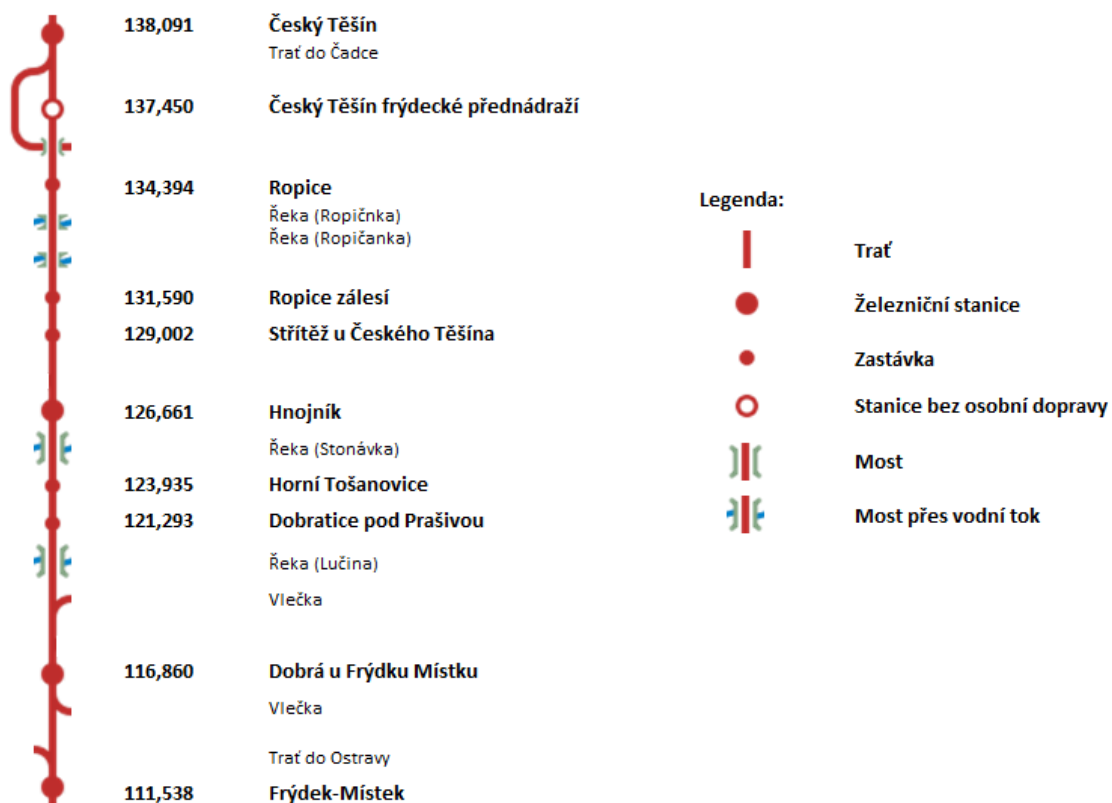
Finanční náklady pro elektrické hnací vozidlo E 479.0 ve směru Český Těšín – Frýdek-Místek jsou tedy o 1658 Kč nižší než u vlaku vedeného motorovým hnacím vozidlem řady 742, dokonce při vyšší dopravované hmotnosti.

Na základě těchto poznatků jsem usoudil, že elektrifikace trati by se stala významným přínosem jak v oblasti finančních úspor, tak i pro zvýšení kvality přepravní kapacity v nákladní a osobní dopravě.

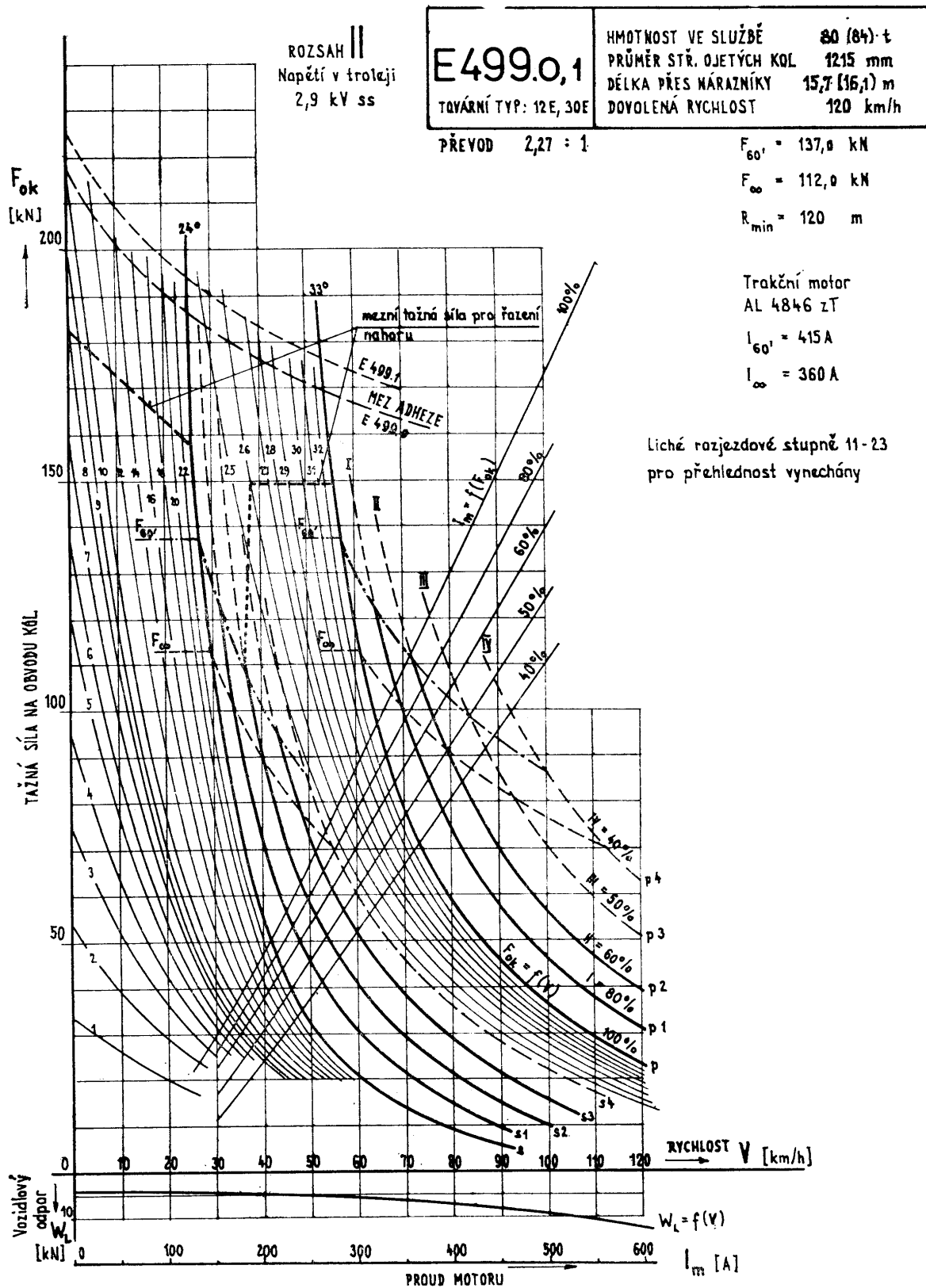
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A JINÉ ZDROJE

- [1] Široký Jaromír.: *Mechanika v dopravě I – Kolejová vozidla*
- [2] Antonický Stanislav.: *Provoz hnacích vozidel*
- [3] Antonický Stanislav.: *Provoz kolejových vozidel II*
- [4] Danzer Jiří.: *Elektrická trakce – 1.Přehled problematiky*
- [5] Tabulka traťových poměrů
- [6] Správa železniční dopravní cesty – Správa dopravní cesty, ST Český Těšín
- [7] Sešitový jízdní řád pro osobní dopravu na trati Frýdek-Místek – Český Těšín
<http://www.iwan.eu07.pl/jw/2013/data/sjr/os302.pdf>
- [8] Sešitový jízdní řád pro nákladní dopravu na trati Frýdek-Místek – Český Těšín
<http://www.iwan.eu07.pl/jw/2013/data/sjr/ns302.pdf>
- [10] <http://www.zelpage.cz/>
- [11] <http://www.atlaslokomotiv.net/>
- [12] <http://www.vlaky.net/>
- [13] <http://www.cdcargo.net/>
- [14] Schreier Pavel.: *Zrození železnic v Čechách, na Moravě a ve Slezsku*

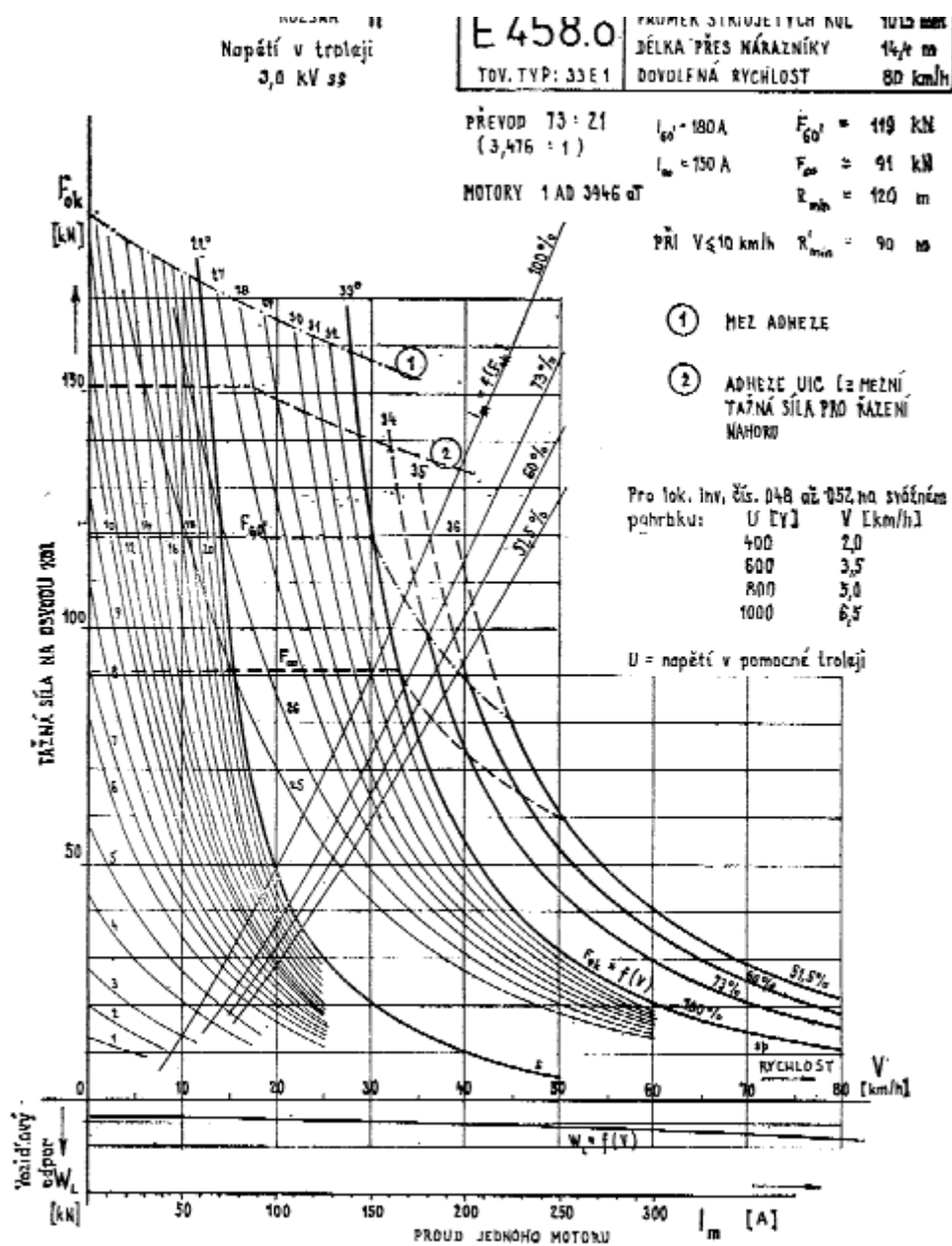
PŘÍLOHY



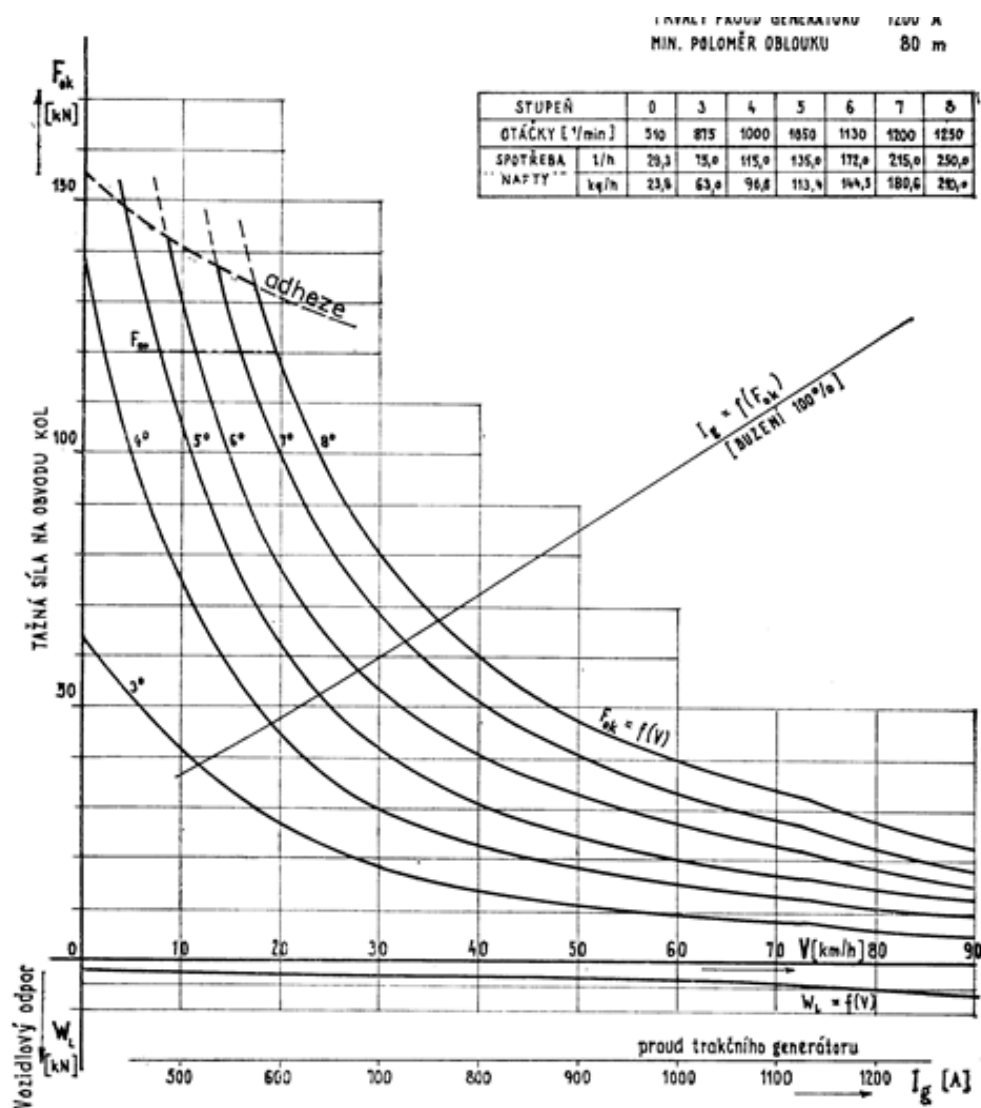
Příloha č. 1 – Grafický průběh trati



Příloha č. 2 – Trakční charakteristika hnacího E 479.0

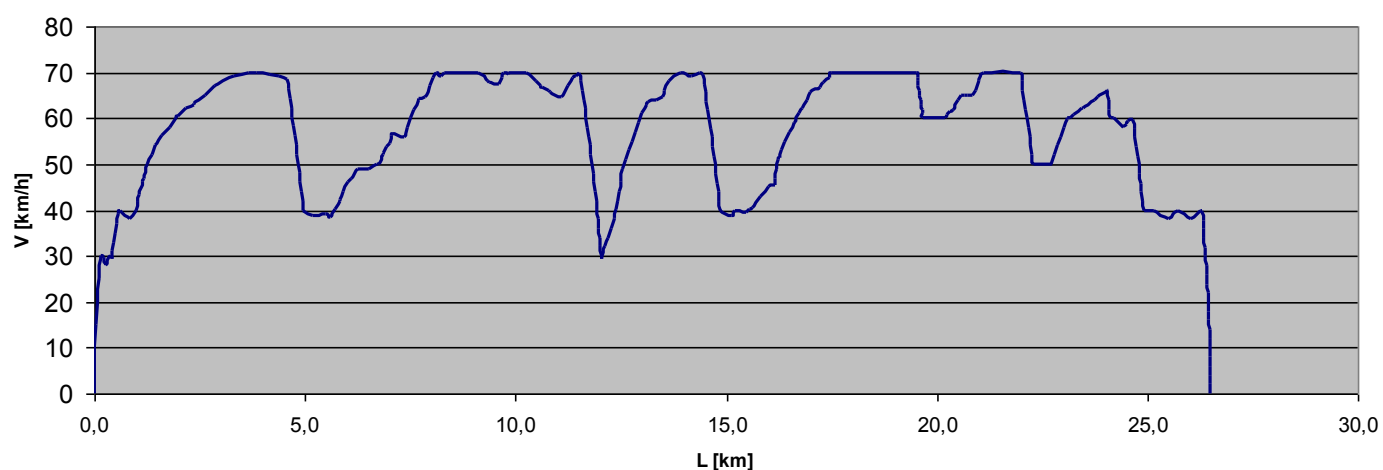


Příloha č. 3 – Trakční charakteristika hnacího E 458.0



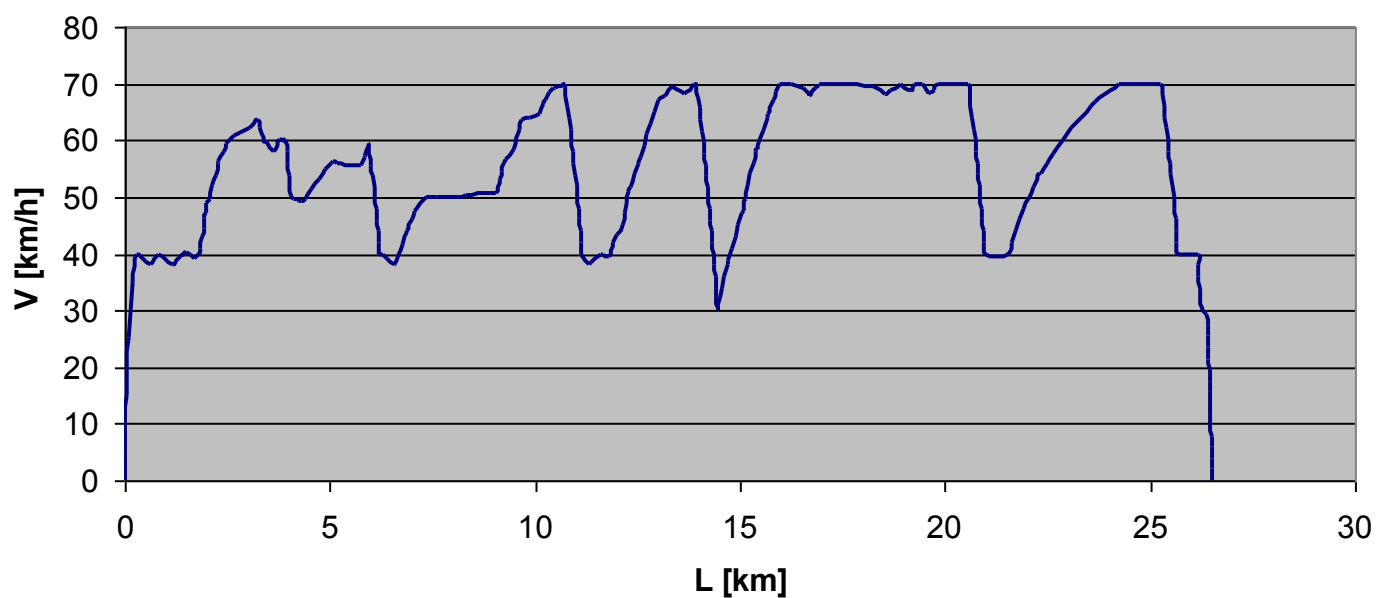
Příloha č. 4 – Trakční charakteristika hnacího vozidla řady 742

Tachogram jízdy elektrické lokomotivy E479.0 ve směru Frýdek Místek - Český Těšín



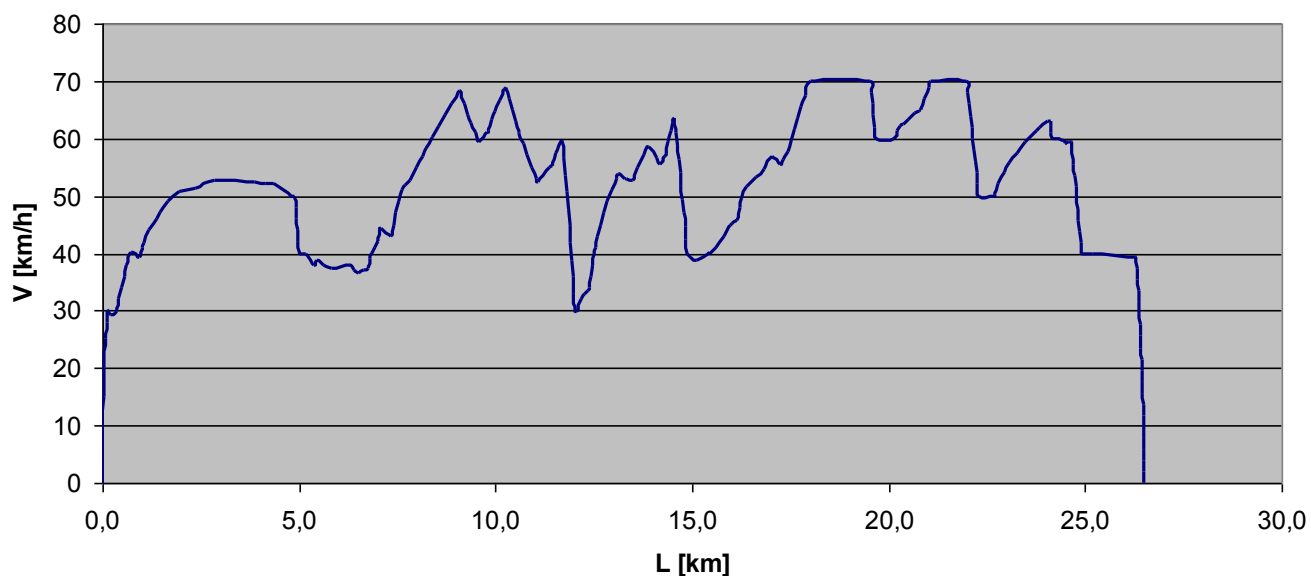
Příloha č. 5 – Dráhový tachogram jízdy vlaku vedeného HV E 479.0 ve směru
Frýdek-Místek – Český Těšín

**Tachogram jízdy elektrické lokomotivy E479.0 ve směru
Český Těšín - Frýdek Místek**



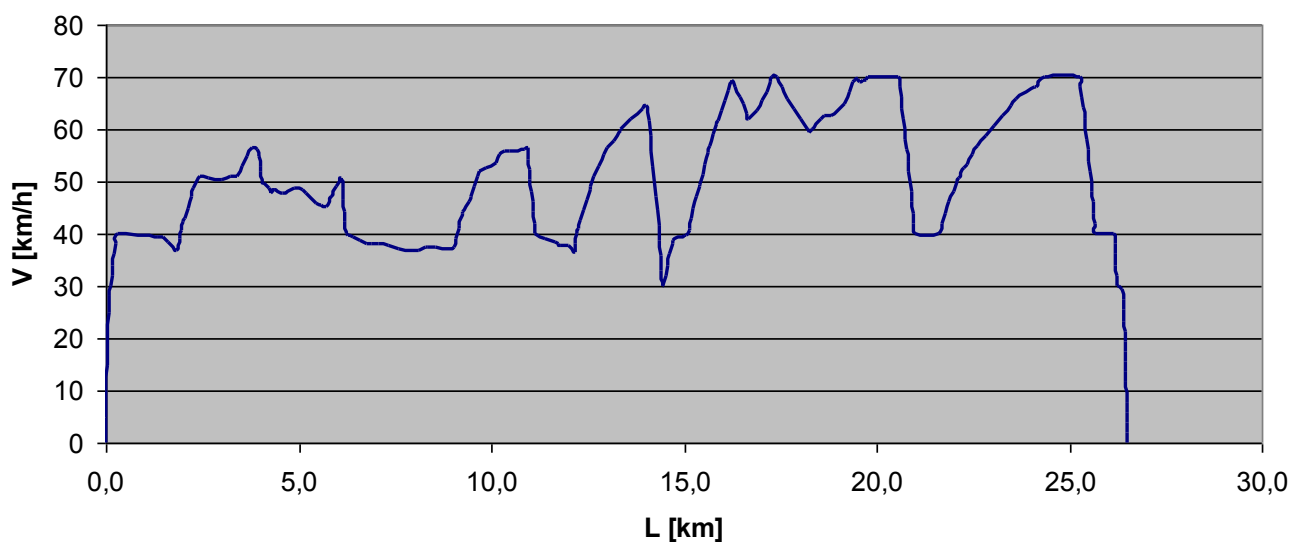
Příloha č. 6 – Dráhový tachogram jízdy vlaku vedeného HV E 479.0 ve směru
Český Těšín – Frýdek Místek

Tachogram jízdy elektrické lokomotivy E458.0 ve směru Frýdek Místek - Český Těšín



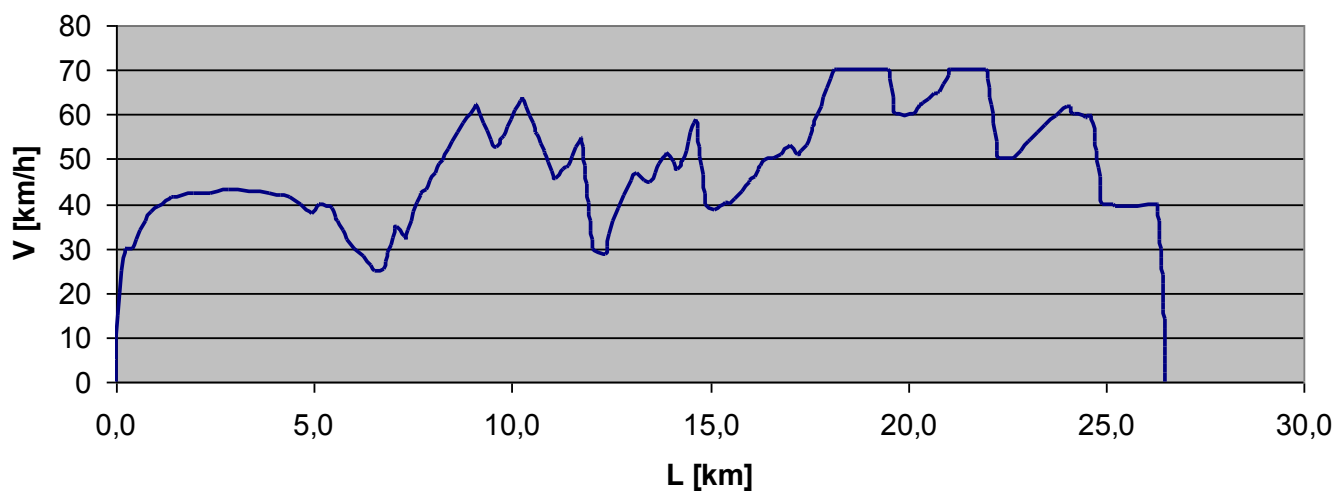
Příloha č. 7 – Dráhový tachogram jízdy vlaku vedeného HV E 458.0 ve směru
Frýdek-Místek – Český Těšín

Tachogram jízdy elektrické lokomotivy E 458.0 ve směru Český Těšín - Frýdek Místek



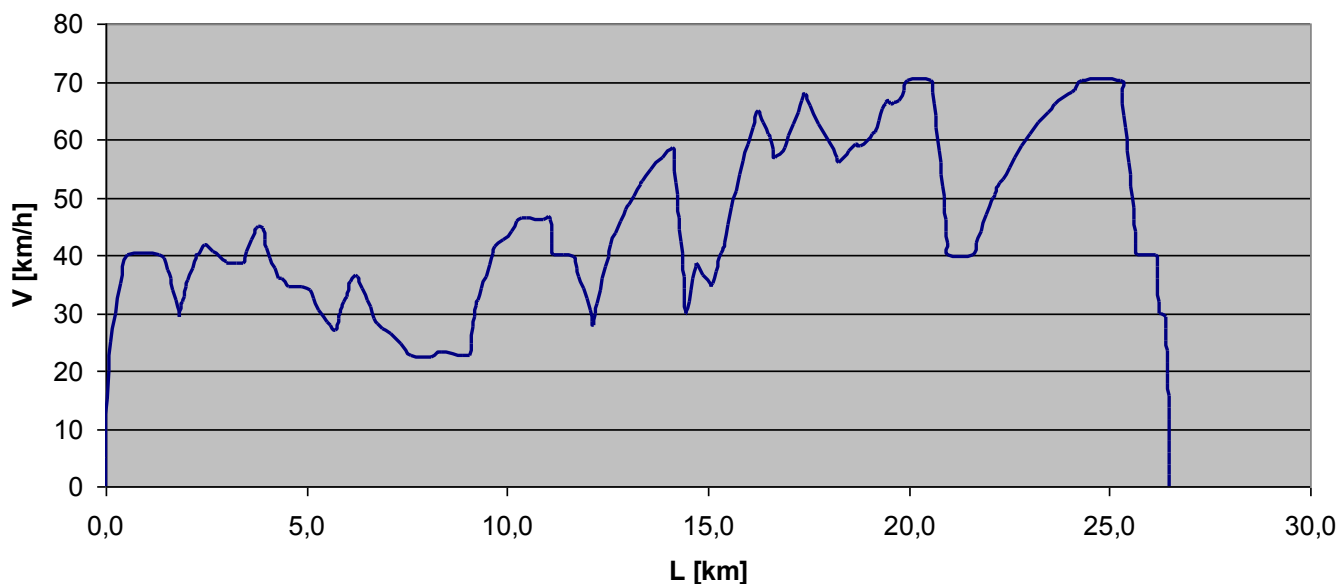
Příloha č. 8 – Dráhový tachogram jízdy vlaku vedeného HV E 458.0 ve směru
Český Těšín – Frýdek-Místek

Tachogram jízdy vlaku vedeného motorovou lokomotivou řady 742 ve směru Frýdek-Místek - Český Těšín



Příloha č. 9 – Dráhový tachogram jízdy vlaku vedeného HV řady 742 ve směru Frýdek-Místek – Český Těšín

Tachogram jízdy motorové lokomotivy 742 ve směru Český Těšín - Frýdek místek



Příloha č. 10 – Dráhový tachogram jízdy vlaku vedeného HV řady 742 ve směru Český Těšín – Frýdek-Místek



Příloha č. 11 – Železniční stanice Frýdek-Místek



Příloha č. 12 – Příjezd do stanice Český Těšín